

Evaluación agroecológica preliminar de dos sistemas productivos forestales en los municipios de Manatí y Repelón en el Departamento del Atlántico.

Gustavo Adolfo García Camargo



Corporación Universidad de la Costa

Facultad de ingeniería

Departamento de Gestión Industrial, Agroindustrial y Operaciones

Programa de Ingeniería Agroindustrial

Barranquilla

2019

Evaluación agroecológica preliminar de dos sistemas productivos forestales en los municipios de Manatí y Repelón en el Departamento del Atlántico.

Gustavo Adolfo García Camargo

Trabajo de investigación para obtener el título de

Ingeniero Agroindustrial

Director (a):

M.Sc Eliana Andrea Martínez Mera

Co-director (a):

M.Sc Ana Carolina Torregroza Espinosa

Corporación Universidad de la Costa

Facultad de ingeniería

Departamento de Gestión Industrial, Agroindustrial y Operaciones

Programa de Ingeniería Agroindustrial

Barranquilla

2019

Dedicatoria.

A Dios, por siempre ser el motor de mi vida, ese algo que me impulsa a superarme, jamás permitiendo que desfallezca o pierda la fe aún en los momentos más difíciles de mi vida. Toda la gloria sea para ti Dios mío.

A mi padre Adolfo García, A mi madre Ofelia Camargo y hermanos sin importar la distancia, por siempre motivarme durante todo mi camino profesional, y por guiarme en todos los aspectos de mi vida, sin importar que muchos me llamaran loco por estudiar una segunda ingeniería.

A mi novia Julieta, por aguantarme e impulsarme a continuar cada día, por ser uno de mis apoyos en los momentos de frustración y desesperación. Por enseñarme a ver todo desde otro punto de vista.

Gracias.

Gustavo Adolfo García Camargo.

Agradecimientos

Gratitud total de mi parte,

A la Corporación Autónoma Regional (C.R.A.) y a la Universidad de la Costa (C.U.C.), por permitirme desarrollar el tema de trabajo de grado, de igual manera por suministrar información pertinente para la ejecución de los sistemas agroforestales.

A mis directoras de tesis, Eliana Andrea Martínez Mera y Ana Carolina Torregroza Espinosa, por todas las enseñanzas recibidas al llevar a cabo la investigación, además de los conocimientos que colocaron a disposición de todos los presentes durante aquellas clases en las que tuve el placer de ser participe.

A todas aquellas personas que siempre estuvieron ahí para mí, con una frase de aliento, con un gesto de apoyo en todo momento, aquellos que me aconsejaron y siempre y me motivaron a continuar con este proyecto.

A mis compañeros de carrera y en especial a Marilyn Galindo, quien hizo parte de este proyecto y por cuestiones de la vida no pudo continuar, si algún día lees esto, quiero que sepas que para mí tienes merito por esta investigación.

Gustavo Adolfo García Camargo

Barranquilla, _____ 2019

Nota de aprobación

Presidente de Jurado

Jurado

Jurado

Resumen

En el sur del Departamento del Atlántico, los problemas generados por la ola invernal (2010) y el incendio forestal en la Reserva Natural Banco Totumo (2014), han ocasionado alteraciones en los suelos y la biodiversidad. Los sistemas agroforestales surgen como alternativas para la restauración de los suelos y recuperación de la biodiversidad. En este contexto, se evaluó el componente ambiental y económico para el establecimiento de sistemas agroforestales en los municipios de Manatí y Repelón (Atlántico). En el componente ambiental, se realizó la caracterización fisicoquímica edáfica: humedad, textura, pH, color, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, salinidad y nitrógeno total. Se construyeron indicadores de los parámetros pH, humedad, drenaje, textura, temperatura ambiental, altitud y precipitación, para determinar la adaptabilidad de las especies forestales sembradas (*Albizia saman*, *Ceiba pentandra*, *Bursera simaruba*, *Melicoccus bijugatus*, *Mangifera indica*, *Manilkara zapota*, *Lecythis minor*, *Tabebuia rosea*). En el componente económico, se estimaron los costos asociados a la implementación de cada uno de los sistemas. Se encontró que, los parámetros del suelo, aunque presentan variabilidad en relación con los indicadores, las especies forestales no presentan problemas para su manejo (indicador 1). La estimación de costos evidencia igualdad en la inversión (\$ 41'853,900) en cada sistema. De acuerdo con los resultados obtenidos, las especies forestales requieren mantenimiento y fertilización del suelo, para superar las pocas restricciones evidenciadas, lo cual influye en su desarrollo. De igual manera, la flora nativa asociada a los sistemas, a largo plazo permitirá recuperar especies que han migrado por alteración en su hábitat.

Palabras clave: suelos, agroecosistemas, propiedades edáficas, biodiversidad

Abstract

In the south of the Department of Atlántico, the problems caused by the winter wave (2010) and the forest fire in the Banco Totumo Natural Reserve (2014), have caused alterations in soils and biodiversity. Agroforestry systems are emerging as alternatives for soil restoration and biodiversity recovery. In this context, the environmental and economic component for the establishment of agroforestry systems in the municipalities of Manatí and Repelón (Atlántico) was evaluated. In the environmental component, edaphic physicochemical characterization was carried out: humidity, texture, pH, color, organic matter, cation exchange capacity, salinity and total nitrogen. Indicators of the parameters pH, humidity, drainage, texture, environmental temperature, altitude and precipitation were constructed to determine the adaptability of the planted forest species (*Albizia saman*, *Ceiba pentandra*, *Bursera simaruba*, *Melicoccus bijugatus*, *Mangifera indica*, *Manilkara zapota*, *Lecythis minor*, *Tabebuia rosea*). In the economic component, the costs associated with the implementation of each of the systems were estimated. It was found that, although the soil parameters present variability in relation to the indicators, the forest species do not present problems for their management (indicator 1). The estimation of costs shows equality in the investment (\$ 41'853,900) in each system. According to the results obtained, forest species require soil maintenance and fertilization in order to overcome the few restrictions evidenced, which influences their development. Similarly, the native flora associated with the long-term systems will allow the recovery of species that have migrated due to habitat alteration.

Keywords: soil, agroecosystems, soil properties, biodiversity

Contenido

Lista de tablas y figuras.....	11
1 Introducción.....	13
2. Planteamiento del problema.	15
3 Justificación.....	18
4 Objetivos.	20
4.1 Objetivo General.	20
4.2 Objetivos Específicos.	20
5 Marco teórico.....	21
5.1 Sistemas Agroforestales.....	21
5.2 Propiedades fisicoquímicas del suelo.	22
6 Antecedentes.	29
7 Metodología.....	32
7.1 Descripción de las zonas de estudio.	32
7.2 Fase de campo.	33
7.2.1 Recolección de información primaria.	33
7.2.2 Caracterización del suelo.	34
7.3 Fase experimental.....	35
7.3.1 Humedad.....	35
7.3.2 Textura.....	35
7.3.3 Color.....	36

7.3.4	pH.	36
7.3.5	Conductividad eléctrica.	37
7.3.6	Salinidad.	37
7.3.7	Fósforo disponible.	38
7.3.8	Carbono Orgánico Total.	38
7.3.9	Materia Orgánica.	39
7.3.10	Nitrógeno total.	39
7.3.11	Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C.).....	40
7.4	Construcción de indicadores.	41
7.5	Estimación de costos.	41
7.6	Análisis estadístico.	42
8	Resultados y Discusión.	43
8.1	Encuestas a los habitantes de los municipios de Repelón y Manatí.....	43
8.2	Especies sembradas en los sistemas agroforestales evaluados.	45
8.3	Caracterización fisicoquímica de las muestras de suelo.....	47
8.3.1	Reserva Natural Banco Totumo Bijibana.....	47
8.3.2	Humedal el Limón.....	50
8.4	Correlación de especies seleccionadas con las condiciones en las zonas de estudio.	53
8.4.1	Condiciones ambientales de las zonas de estudio.	53

8.4.2	Requerimientos de suelo y condiciones ambientales entorno para las especies seleccionadas.	53
8.4.3	Correlación de las especies seleccionadas con las condiciones ambientales de la Reserva Natural Banco Totumo Bijibana.	55
8.4.4	Correlación de las especies seleccionadas con las condiciones ambientales del Humedal el limón.	56
8.5	Estimación de costos.	58
8.5.1	Costos de activos fijos.	58
8.5.2	Costo capital de trabajo	58
8.5.3	Costos de arranque.	59
8.5.4	Costos de administración e imprevistos.	60
8.6	Propuesta alternativa para el manejo sostenible de los recursos existentes en los dos sistemas agroforestales.	62
9	Conclusiones y Recomendaciones.....	64
10	Referencias	66
Anexos	73
	Encuesta para la recopilación de información primaria en el municipio de Repelón y las Compuertas (Corregimiento de Manatí) en el Departamento del Atlántico.	73
	Informe de entregas de Insumos, Herramientas y Especies Maderables y frutales.....	74
	Anexo 3 Colores identificados en las zonas de estudio	76

Lista de tablas y figuras

Tabla 1. Rangos de humedad en suelos.....	22
Tabla 2 . Clasificación de la textura de los suelos.....	23
Tabla 3 Rangos de pH en suelos	24
Tabla 4 Conductividad Eléctrica para los suelos.	25
Tabla 5 Fosforo disponible en suelos.	26
Tabla 6 Contenido de materia orgánica en suelos.....	27
Tabla 7 Capacidad de intercambio catiónico en suelos	28
Tabla 8 Especies vegetales consideradas en peligro por las personas encuestadas, en los municipios de Manatí y Repelón.....	43
Tabla 9 Especies maderables y frutales utilizadas en cada uno de los sistemas agroforestales	45
Tabla 10 Resultados de parámetros fisicoquímicos del suelo Reserva Natural Banco Totumo Bijibana.....	48
Tabla 11 Resultados de parámetros fisicoquímicos del suelo del Humedal el Limón.....	51
Tabla 12 Condiciones ambientales de la Reserva Natural Banco Totumo Bijibana y el Humedal el Limón.....	53
Tabla 13 Requerimientos edáficos y ambientales de los árboles forestales sembrados.....	54
Tabla 14 Correlación de las especies con las condiciones ambientales y edáficas de la Reserva Natural Banco Totumo Bijibana	55
Tabla 15 Correlación de las especies con las condiciones ambientales y edáficas del Humedal el Limón.....	57
Tabla 16 Herramientas, elementos y utensilios para la implementación de los sistemas agroforestales	58

Tabla 17 Remuneraciones, honorarios e incentivos para la implementación de los sistemas agroforestales.	59
Tabla 18 Pasajes y viáticos para la implementación de los sistemas agroforestales.....	59
Tabla 19 Consumibles para la implementación de los sistemas agroforestales.....	60
Tabla 20 Costos de administración superior e imprevistos para la implementación de los sistemas agroforestales	60
Tabla 21 Costos Totales para la implementación de los sistemas Agroforestales en Repelón y las Compuertas	61
Tabla 22 Costos ambientales por la no implementación de los sistemas Agroforestales en Repelón y las Compuertas	61

Figura

Figura 1. Localización geográfica del departamento del Atlántico.....	33
Figura 2. Descargue del material vegetal.....	74
Figura3. Entrega de material vegetal.....	74
Figura 4. Entrega de especies maderables.....	75
Figura 5. Entrega de palas y palas draga.....	75
Figura6. Entrega de bombas de fumigar, guantes y gafas.....	75
Figura 7. Entrega de bultos de abono, Hidroretenedores, lersban y polisombra.....	76

1 Introducción

La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio refleja que en los últimos 50 años los seres humanos han ido cambiando intensivamente los ecosistemas de una manera muy acelerada que cualquier otro periodo de tiempo comparable en la historia, el gran aumento poblacional ha provocado una ascendente demanda de alimentos como agua, madera, fibra y combustible. Por lo tanto, para satisfacer esta demanda, se han alterado y destruido áreas de gran importancia (Ministerio del Medio Ambiente, 2005).

El aumento recurrente de alimentos y la sobreexplotación de los recursos naturales presentan resultados negativos en la disposición de los ecosistemas para brindar bienes y servicios de forma permanente. Pese a esto, en muchos casos, dependiendo del manejo, los ecosistemas intervenidos por el hombre pueden ofrecer una variedad de bienes y servicios ambientales (Rubio, 2001). Es por ello, que en la actualidad se implementan agroecosistemas, los cuales combinan formas de producción agrícola con árboles forestales y animales con el objetivo de diversificar la producción de alimentos y aplicar prácticas de conservación de los recursos naturales, reduciendo la pérdida de la fertilidad de los suelos, mejorando la disponibilidad y calidad del agua. Los sistemas agroforestales tienden no solo a una mejor utilización de su capacidad de producción, sino que también favorecen, en cuestiones generales, a un mejor cuidado del ambiente, debido a su gran complejidad biológica y estructural (Retamal, 2008).

En Colombia, en el sur del departamento del Atlántico, los municipios de Repelón y Manatí (corregimiento de las Compuertas), las actividades antrópicas como la agricultura, ganadería, pesca y minería están afectando la biodiversidad. Esta problemática además de afectar la flora y fauna endémica de la zona también ha generado el deterioro de fuentes hídricas y la calidad del

suelo (Aguilera-Díaz, 2006). Por otra parte, el recurso hídrico disponible para el sur del departamento, es abastecido por las aguas del Canal del Dique y el embalse El Guájaro. Este último, es uno de los ecosistemas acuáticos más importantes del Departamento, porque abastece tres distritos de riego, apoya la pesca, la ganadería y las actividades agrícolas, y suministra agua para el consumo de los habitantes de la región (CRA 2014). En este sentido, dichos recursos se encuentran estrechamente relacionados con los suelos y las actividades antrópicas que puedan llegar afectar o contribuir con el deterioro de estos. Diferentes investigaciones (Torregroza-Espinosa *et al.*, 2018; Martínez-Mera *et al.*, 2019), evidencian la presencia de metales pesados en las matrices de agua, suelo y sedimento, en el distrito de riego de Repelón y el embalse El Guájaro. La contaminación de los recursos naturales se debe a las actividades agrícolas, pecuarias y mineras. De igual manera, representan un riesgo potencial para los recursos naturales las poblaciones que se abastecen desde los cuerpos de agua. Dichos estudios son punto de referencia importante para la presente investigación ya que evidencia la afectación de suelos y aguas, por lo tanto, la evaluación de sistemas forestales en el Departamento del Atlántico, representan una oportunidad para enriquecer la biodiversidad y a largo plazo beneficiarse de servicios ecosistémicos que podrían mejorar las condiciones anteriormente descritas.

2. Planteamiento del problema

Las actividades agropecuarias, el desarrollo industrial y el crecimiento urbanístico han ocasionado la degradación de recursos naturales (Dumont & Baret, 2017). A nivel mundial, la degradación de los suelos afecta por lo menos a 2,000 millones de ha y alrededor de 2/3 de las tierras agrícolas, lo cual trae consigo pérdidas en la biodiversidad (FAO, 2018). En este sentido, los suelos sufren una creciente presión por la intensificación de su uso para la agricultura, la silvicultura, el pastoreo y la urbanización. Se estima que la demanda la población sobre el suelo aumentará un 60% para 2050; aproximadamente, 80 especies de flora se han extinguido debido a la pérdida de su hábitat y otras 5,000 especies se encuentran potencialmente amenazadas (FAO, 2015). Estas presiones, combinadas con usos y prácticas de gestión no sostenibles, así como los fenómenos climáticos extremos, causan una degradación importante del suelo, que en el caso de Colombia afecta el 40% del territorio está afectado debido a la erosión (FAO, 2018).

Por otro lado, la conservación de la biodiversidad biológica es fundamental para el funcionamiento de los sistemas agrícolas y por ende constituye la base de la agricultura sostenible (Solorio, 2010). Sin embargo, el mal manejo de la agricultura ha traído consigo la disminución acelerada de la diversidad de plantas de interés alimentario para los seres humanos, hasta el punto de que, de las 10,000 especies de plantas utilizadas para la producción de alimento en el pasado, apenas 150 garantizan la alimentación de la población mundial actualmente (FAO, 2018).

Teniendo en cuenta este contexto, los sistemas agroforestales son ecosistemas modificados con altos niveles de biodiversidad, estos proveen diversos servicios ecosistémicos, aumentan los procesos ecológicos, a menudo con altos rendimientos económicos. Es decir, no solo son una forma ecológica sostenible de producir cultivos, sino que también proveen fuentes de entradas y recursos adicionales a los agricultores como son la producción de leña, frutas y

pastos, a la vez protegen la biodiversidad de los efectos negativos generados por el uso y abuso de químicos en la agricultura, monocultivos y sobrepastoreo (Santos, Crouzeille & Sansevero, 2019). Actualmente, son muy pocas las investigaciones realizadas en cuanto a la caracterización o evaluación de sistemas agrícolas, forestales o agroforestales (SAF) productivos. Se requiere profundizar en las interrelaciones (incompatibilidades) entre los diferentes servicios y los posibles efectos negativos en el rendimiento productivo de los SAF cuando se aumenta el componente arbóreo de los sistemas agrícolas, i.e, potenciar al máximo la captura de carbono con monocultivos de alta densidad arbórea tendrá efectos negativos sobre la conservación de la biodiversidad y podría eliminar la fuente de suplementos alimenticios, fibras, medicinas, etc. Usadas por familias rurales. También se deben desarrollar y probar, en diferentes escenarios socioeconómicos, métodos para el manejo de incentivos financieros en la adopción/mejoramiento de los SAF para favorecer un mejor uso de la tierra. Una limitación fundamental de la promoción de los SAF es la escasez de análisis económicos que incluya la valoración de estos servicios.

En el norte de Colombia, durante los últimos años el sur del Departamento del Atlántico ha presentado problemas en los suelos y biodiversidad ocasionados por diferentes procesos naturales y antropogénicos, dentro de los cuales se pueden destacar la ola invernal del año 2010, donde el rompimiento del Canal del Dique generó un proceso de sedimentación fluvial proveniente del río Magdalena (Guerra de los Ríos, s.f.). Sumado a esta problemática, las inadecuadas prácticas de minería, agricultura y ganadería han generado disminución de la productividad de los suelos, contribuyendo de esta manera con disminución de la fertilidad de los suelos de la región, afectando directamente a la productividad y la inherente pérdida de biodiversidad (Martínez-Mera *et al.*, 2017). En esta zona se encuentran el municipios de Repelón y el corregimiento las Compuertas (Manatí), los cuales presentan problemáticas como las mencionadas anteriormente, afectando sus necesidades básicas de alimentación y bienestar.

Teniendo en cuenta estos aspectos, surge la necesidad de implementar modelos productivos que sean capaces de mejorar la sostenibilidad, aumentar la fertilidad de los suelos, disminuir la erosión y garantizar el uso eficiente de los recursos hídricos, principalmente con prácticas que favorecen el reciclaje de nutrientes a partir de los ciclos ecológicos (Beer *et al.*, 2003). En este contexto, la presente investigación pretendió determinar ¿Cuáles son las características de los componentes ambiental y económico que intervienen para el establecimiento de sistemas agroforestales en los municipios de Manatí y Repelón en el departamento del Atlántico?

3 Justificación

La calidad del suelo se define como la capacidad específica que tiene un suelo para funcionar en un ecosistema natural o antrópico de acuerdo con sus funciones: (1) promover la productividad del sistema sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas (productividad biológica sostenible); (2) atenuar contaminantes ambientales y patógenos (calidad ambiental); y (3) favorecer la salud de plantas, animales y humanos (Doran, 1994). De esta manera, los servicios ecosistémicos asociados al suelo están directamente relacionados con su calidad.

La agroforestería establece un uso alternativo de sistemas de producción basados en manejos ambientalmente sostenibles, donde los principales beneficios están comprendidos en servicios ambientales o ecosistémicos como contribuir al mantenimiento y manejo de la biodiversidad en paisajes naturales o agrícolas deforestados; contribuir a mantener la cantidad y la calidad del recurso hídrico del entorno; contribuir con la calidad del aire; reducir la erosión y mantener la fertilidad del suelo (Beer *et al.*, 2003). Al mismo tiempo, la acción del hombre sobre estos ecosistemas articula la conservación de la biodiversidad, con el desarrollo socioeconómico, e involucra aspectos sociales y culturales que buscan mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades urbanas rurales (Sinclair, 2004).

Para promover el establecimiento de sistemas agroecológicos sostenibles, es necesario tener un conocimiento fundamental de los diferentes componentes que lo integran (Ferrera & Alarcón, 2001). La implementación de los agroecosistemas se basa en conocimientos tecnológicos apropiados y sostenibles ecológica y socialmente donde se concibe como un sistema de producción dinámico y flexible en el tiempo y en espacio, ya que su diseño depende de las condiciones propias de la zona (Vargas, Nicholls, Márquez, & Turbay, 2014). Su estructura se fundamenta en la combinación de formas de producción agrícola con árboles forestales, cultivos

y animales con el objetivo de diversificar la producción de alimentos garantizando la seguridad alimentaria; incremento y variabilidad en materia prima (leña, semillas, residuos para composta, entre otros) de los cuales se pueden obtener ventajas económicas o garantizar la sostenibilidad del sistema de producción; y a nivel ambiental, se proporcionan servicios ecosistémicos (polinización, biodiversidad, calidad de agua y aire, entre otros). Lo anterior, aplicando prácticas de conservación de los recursos naturales, las cuales buscan reducir la pérdida de la fertilidad de los suelos y optimizar el uso de dichos recursos, aumentando la producción total por unidad de tierra (Dumont & Baret, 2017). Los sistemas agroforestales tienden no solo a una mejor utilización de su capacidad de producción del sitio, sino que también favorecen las condiciones ambientales, debido a su gran complejidad biológica y estructural (Retamal *et al.*, 2008). Pese a lo anterior, pocos estudios han cuantificado las diferencias en la efectividad de estos sistemas para recuperar la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos en áreas degradadas, así como la viabilidad para el establecimiento de dichos sistemas (Santos, Crouzeille & Sansevero, 2019).

En Colombia, se han realizado pocos estudios sobre este tema. Particularmente, en áreas agrícolas del sur del Departamento del Atlántico, se ha realizado investigación sobre los suelos agrícolas del distrito de riego de Repelón, Atlántico (Martínez Mera *et al.*, 2017). En este sentido, se hace evidente la importancia de profundizar e investigar sobre la viabilidad ambiental y económica del establecimiento de sistemas agroforestales sostenibles en el municipios de Repelón y el corregimiento las Compuertas (Manatí), del departamento del Atlántico, teniendo en cuenta las múltiples afectaciones que han sufrido estas zonas, destacándose la pérdida de su capacidad productiva.

4 Objetivos

4.1 Objetivo General.

Evaluar los componentes ambiental, y económico que intervienen en el establecimiento de dos sistemas agroforestales en los municipios de Manatí y Repelón en el departamento del Atlántico.

4.2 Objetivos Específicos.

- Caracterizar los suelos de las zonas donde se establecieron los dos sistemas agroforestales en los municipios de Manatí y Repelón.
- Estimar los costos asociados para el establecimiento de los dos sistemas agroforestales.
- Diseñar una propuesta alternativa para el manejo sostenible de los recursos existentes en los dos sistemas agroforestales.

5 Marco teórico

5.1 Sistemas Agroforestales

La agroforestería, sistemas agroforestales o agrobosques se conocen como una disciplina reciente, la cual se encuentra orientada hacia la asociación de especies leñosas con cultivos agrícolas y manejo de animales, con el propósito de proteger y conservar los ecosistemas y su biodiversidad, aumentar los rendimientos del campo, proporcionar una gama de productos útiles, potenciar la seguridad alimentaria y comercializar productos, mejorar la diversificación del paisaje, amortiguar el cambio climático, entre otros (Hernández & Duran, 2016).

Los sistemas agroforestales también se caracterizan por aportar a la sostenibilidad y sustentabilidad de la región o el entorno donde se han implementado, es decir que además de contemplar lo mencionado anteriormente tiene un componente social y económico, siendo su potencial particularmente reconocido para los pequeños agricultores en áreas marginales y pobres de las zonas tropicales y subtropicales (Altieri *et al.*, 1999).

Económicamente, los agrobosques pueden proveer entradas de muchas fuentes alternativas y a la vez proveer materiales y alimentos a ser usados por los agricultores. En contraste con los cultivos convencionales productivos, los cuales son a menudo cultivados solamente para la exportación y a menudo para mercados volátiles, los agrobosques diversos producen muchos cultivos, amortiguando las subidas y bajadas de los mercados internacionales (Bichier, 2007).

Por otra parte, el mejoramiento del suelo en sistemas agroforestales está vinculado al crecimiento de los árboles fijadores de nitrógeno (N) o de árboles/arbustos de raíces profundas que aumentan la disponibilidad de los nutrientes a través de la fijación biológica, reciclaje de nutrientes desde capas profundas hacia la superficie del suelo (especialmente en zonas secas) y acumulación de materia orgánica en el suelo. Los sistemas con altos niveles de biodiversidad también proveen mejores servicios ecológicos, aumentando las funciones locales tales como el

control de plagas y la polinización, a menudo con altos rendimientos económicos (Beer *et al.*, 2003).

5.2 Propiedades fisicoquímicas del suelo.

Las propiedades físicas y químicas de los suelos son punto de partida para determinar la calidad y el uso. Las propiedades del suelo son físicas (humedad, textura y color) y químicas (pH, salinidad y conductividad eléctrica, fosforo disponible, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico) (Quichimbo *et al.*, 2012).

La humedad, regularmente se asocia a la cantidad de agua disponible en el suelo y la capacidad de los suelos para retener agua. Se define como la cantidad de agua que el suelo puede retener a drenaje libre, y su valor o interpretación está estrictamente relacionado con la textura y la estructura del suelo. Su valor se expresa en porcentaje (%) y representa la cantidad de agua capaz de retener 100g de suelo. Dicha capacidad está sujeta a cambios puede aumentar o disminuir por diversos factores, puede variar lentamente a través de cambios imperceptibles en la materia orgánica. Además, el cambio puede ser rápido si se presenta eventos de arado fuerte y que influyen en el transporte y retención de agua en los suelos, y de forma indirecta en procesos de erosión del suelo (Miralles-Mellado, 2007). La humedad en los suelos puede ser muy baja, baja, media y elevada dependiendo del rango en el que se encuentre el porcentaje de humedad (Tabla1).

Tabla 1.

Rangos de humedad en suelos.

Humedad (%)	Interpretación
<7	Muy baja
7 – 12	Baja
12 – 20	Media baja
20 – 30	Media
<30	Elevada

Nota: adaptado de Garrido-Várelo, 1994.

En cuanto a la textura de los suelos, se representa el porcentaje en que se encuentran los elementos que constituyen el suelo; arena gruesa, arena media, arena fina, limo, arcilla. Un suelo tiene una buena textura cuando la proporción de los elementos que lo constituyen le dan la posibilidad de ser un soporte capaz de favorecer la fijación del sistema radicular de las plantas y su nutrición (Rucks *et al.*, 2004). El tipo de textura del suelo tiene bastante relación con las propiedades hídricas, los suelos más arenosos son muy permeables, los arcillosos retienen más el agua y los limosos son más impermeables, pero dependiendo del grado y tipo de estructura las características hídricas pueden variar. De igual manera, la fracción arena fina + limo en contenido alto, produce mayor impermeabilidad en el suelo (Garrido-Varelo, 1994). La textura de los suelos se clasifica en gruesa o pesada, media y fina o ligera (Tabla 2).

Tabla 2 .

Clasificación de la textura de los suelos

Suelos	Textura	Clasificación textural
Arenosos	Suelos de textura Gruesa	Arenosos, Arenosos Franco, Franco arenosos
Francos	Suelos de textura Media	Franco, francos limosos, franco arcilloso, franco arcillo arenoso, franco arcillo limoso
Arcillosos	Suelos de textura fina	Arcillo arenosos, arcillo limosos y arcillosos

Nota: adaptado de Rucks et al., 2004

El color del suelo sirve para identificar determinadas zonas y su calidad. De igual manera, puede ser un indicador útil de algunas de las propiedades generales de un suelo, así como de algunos de los procesos químicos que se producen debajo de la superficie. El color es producido por los componentes del suelo, generalmente se debe a tres pigmentos principales: negro (de materia orgánica), rojo (de óxidos de hierro y aluminio) y blanco (de silicatos y sal) (Garrido-Varelo, 1994).

El pH es la medida del grado de acidez del suelo es decir se mide la concentración de iones de hidrogeno (H^+). La escala de medición utilizada es la convencional, pH 14 es el valor

máximo, característico de suelos alcalinos; pH 7 representa un suelo neutro; y los suelos ácidos presentan valores inferiores a pH 7 (Garrido-Várelo, 1994). El pH, adicionalmente proporciona información acerca de características del suelo, como disponibilidad de fósforo (P), grado de saturación con bases y deficiencias de calcio (Ca), toxicidad por aluminio (Al), deficiencias y toxicidades de micronutrientes, problemas de mineralización de la materia orgánica, entre otros, y especialmente sobre requerimientos de cal (Gilabert de Brito, 2015). La interpretación del pH en los suelos se describe en la Tabla 3.

Tabla 3

Rangos de pH en suelos

pH	Interpretación Agronómica	Observaciones
<4,5	Suelo muy ácido	Dificultad de desarrollo de la mayoría de los cultivos, dificultad para la retención de muchos nutrientes.
4,5 - 5,5	Suelo ácido	Intervención de suelo para llevarlo a condiciones normales
5,5- 7,5	Suelo normal, neutro o cercano a neutral	Considera pH normal para el desarrollo de la mayoría de los cultivos alimenticios, pastizales y bosques.
7,5 - 8,5	Suelo básico o alcalino	Intervención de suelo para llevarlo a condiciones normales
>8,5	Suelo muy básico o alcalino	Dificultad de desarrollo de la mayoría de los cultivos, posible aparición de clorosis férrica.

Nota: adaptado de Garrido-várelo, 1994 - Gilabert de Brito, 2015.

La conductividad eléctrica (CE) de los suelos, se encuentra asociada con la salinidad o la determinación de la salinidad de los suelos, es una medida indirecta de la cantidad de sales que contiene un suelo, su resultado se expresa en miliohm/cm o dS/cm. Los suelos con CE por encima del rango optimo, se consideran suelos salinos. Los suelos con elevada CE impiden el buen desarrollo de las plantas, ya que contienen elevada cantidad de sales. Cada cultivo es capaz de sobrevivir en rangos algo diferentes de conductividad, dependiendo del tipo de sales que tiene el suelo (Garrido-Várelo, 1994). De igual manera, la CE también determina los nutrientes

(cationes y aniones) de los suelos. Así, dentro de un rango específico, la CE puede indicar una disponibilidad de nutriente para las plantas, por el contrario, los suelos con valores de CE por debajo del rango establecido, indicarían la ausencia de nutrientes para el desarrollo de las plantas, suelos inestables y fácilmente dispersables (Miralles-Mellado, 2007).

El problema de la salinidad de los suelos tiene dos efectos sobre el cultivo: Los efectos generales y los efectos específicos. Los efectos generales se refieren al descenso en el potencial de agua en el suelo, es decir a que la planta tiene que hacer un mayor esfuerzo para poder extraer agua del suelo. Los efectos específicos se refieren a la toxicidad que se puede presentar por la presencia de un ion específico como cloro, boro, y en algunos casos sodio (Castellanos, 2016). Se presentan rangos de interpretación para la CE, y salinidad de los suelos (Tabla 4).

Tabla 4

Conductividad Eléctrica para los suelos.

CE (dS/m)	Interpretación agronómica	Observaciones
< 0,75	Bajo: suelo no afectado por sales	Sin restricciones para el desarrollo de la mayoría de los cultivos
> 0,75	Alto: suelo afectado por sales	Con mayores o menores restricciones para el desarrollo de la mayoría de los cultivos, dependiendo de su grado de tolerancia a la salinidad

Nota: adaptado de Gilabert de Brito, 2015.

El fósforo es un indicador químico del suelo, el cual evidencia su calidad, siendo indispensable para el desarrollo y crecimiento vegetal, e indica la capacidad nutritiva que posee el suelo, la necesidad de aplicar o no aplicar abonos, así como la dosis requerida por los suelos (Miralles-Mellado, 2007). El contenido de P disponible en el suelo se expresa en mg/kg o ppm, siendo el nivel crítico de 10 mg/kg, lo que significa que existe 10 kg de P por cada millón de kg de suelo. La mayoría de los suelos vírgenes o poco explotados presentan bajo contenido de este

elemento. Sólo los suelos que han sido manejados con cultivos intensivos durante muchos años y con dosis altas de fertilizantes, llegan a alcanzar valores altos de P, como ocurre con suelos cultivados con hortalizas y plantas ornamentales (Molina, 2007).

Tabla 5

Fosforo disponible en suelos.

Fosforo disponible (ppm - mg/kg)	Interpretación
0 – 15	Bajo
16 – 30	Medio
>30	Alto

Nota: Adaptado de Gilabert de Brito, 2015.

La materia orgánica (M.O) se expresa en porcentaje. Hace referencia a la cantidad de restos orgánicos que se encuentran alterados y que por lo tanto pueden dar lugar a aumentar el contenido en nutrientes del suelo. La M.O favorece la infiltración de agua y aireación del suelo, promueve la retención de agua, actúa como buffer para sustancias xenobióticas y controla el destino de pesticidas aplicados. La M.O tiene una elevada capacidad de intercambio catiónico, esto es una gran capacidad para retener cationes en el suelo. Además, actúa como almacén de nutrientes para las plantas y de carbono, los cuales son liberados lentamente ayudando en la solubilización de los nutrientes a partir de minerales insolubles presentes en los suelos. Finalmente, mejora la microestructura del suelo disminuyendo la erosión de los suelos y proporciona condiciones adecuadas para el desarrollo de la microfauna edáfica (Garrido-Várelo, 1994).

Los factores anteriormente mencionados, permiten que este parámetro sea muy útil para conocer de forma indirecta la fertilidad del suelo. En general el contenido en M.O es más elevado, en los primeros centímetros del suelo (5 cm de profundidad en zonas naturales y unos 10 cm en zonas cultivadas), lugares donde se alberga gran variedad de microorganismos que

influyen en el control biológico de enfermedades y plagas en las especies vegetales (Gilabert de Brito, 2015; Miralles-Mellado, 2007). El contenido de M.O se considera de acuerdo con los niveles de esta en los suelos, lo cual puede ser de alto, medio y bajo; los rangos de contenido de materia orgánica en suelos tienen en cuenta el grupo textural del suelo para interpretar el nivel de M.O. (Tabla 6).

Tabla 6

Contenido de materia orgánica en suelos

Grupos texturales	Materia Orgánica (%)		
	Bajo	Medio	Alto
Gruesas	<1,5	1,5 -3	>3
Medias	<2	2-4.	>4
Finas	<3	3 - 5.	>5

Nota: adaptado de Molina, 2007 y Gilabert de Brito, 2015.

La capacidad de intercambio catiónico (C.I.C), se expresa en meq/100g de suelo. A su vez, es uno de los parámetros fisicoquímicos más importantes del suelo ya que evidencia la composición de las bases intercambiables (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) y su disponibilidad para las especies vegetales (Miralles-Mellado, 2007). El contenido de bases intercambiables define en gran parte el grado de fertilidad del suelo. Los suelos fértiles se distinguen porque tienen altos contenidos de Ca y Mg, mientras que los suelos muy ácidos generalmente presentan deficiencias de Ca y Mg (Molina, 2007). Las arcillas y M.O del suelo tienen la propiedad de comportarse como iones de carga negativa (aniones) de forma que son capaces de retener o adsorber cationes. Esta capacidad del suelo, le permite retener los elementos necesarios para nutrir a las plantas, que de otra forma estarían en la solución del suelo fácilmente disponibles para su lavado en profundidad. Así, cuanto mayor sea la C.I.C. mayor será la fertilidad natural del suelo (Tabla 7) (Garrido-Várelo, 1994).

Tabla 7

Capacidad de intercambio catiónico en suelos

C.I.C. (meq/100g)	Nivel
0 – 10	Muy bajo
10 - 20.	Bajo
20 – 35	Medio
35 - 45	Medio alto
>45	Alto

Nota: adaptado de Garrido-Várelo, 1994.

El contenido de nitrógeno total en el suelo se encuentra en dos formas diferentes: nitrógeno orgánico y nitrógeno químico. En forma química aparece en forma de nitratos, nitritos y amoníaco, forma asimilable para las plantas. El nitrógeno orgánico o amoniacal se encuentra formando parte de los residuos de cosecha, abonos orgánicos o en los microorganismos del suelo. Mediante el proceso de nitrificación (conversión del amonio en nitrato), el nitrógeno se libera poco a poco para ser utilizado por las plantas. Por lo tanto, la medida analítica de nitrógeno total no expresa la cantidad realmente disponible por las plantas (Garrido-Várelo, 1994).

Así como el fosforo, el nitrógeno químico también es un indicador de calidad en los suelos, ya que es un elemento indispensable para el desarrollo de las especies vegetales, e indica la capacidad que tiene el suelo para nutrir dichas especies (Miralles-Mellado, 2007).

6 Antecedentes

La práctica o implementación de sistemas agroforestales (SAF) es relativamente reciente. Este sistema de producción ofrece servicios ambientales como: 1) mantenimiento de la fertilidad del suelo/reducción de la erosión mediante el aporte de material orgánico al suelo, fijación de nitrógeno y reciclaje de nutrientes; 2) conservación del agua (cantidad y calidad) al favorecer la infiltración y reducir la escorrentía superficial que podría contaminar cursos de agua; 3) captura de carbono, enfatizando el potencial de los sistemas silvopastoriles; y 4) conservación de la biodiversidad en paisajes fragmentados. Estos servicios complementan los productos que los SAF proveen (para uso comercial o familiar; p. ej., leña, madera, frutos) pero rara vez los agricultores son recompensados por ellos (Berr *et al.*, 2003).

En América Latina, específicamente en México, la caracterización de los suelos con fines agroforestales, analizó cualitativamente sus condiciones y su potencial teniendo como finalidad implementar un sistema agroforestal. Ellos lograron determinar 6 transectos lineales de 840 m de longitud, separadas a 60 m entre sí. Se caracterizaron mediante 14 puntos de muestreo de suelo, los cuales se evaluaron a cuatro profundidades (0 -10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm y 40 - 60 cm), las cuales permitieron caracterizar parámetros físico-morfológicos como textura, estratificación, color, nódulos, concreciones, grado de compactación, nivel freático, presencia de grietas, posición geomorfológica y pH. Los resultados permitieron elaborar mapas de isolíneas de las variables físicas y pH usando el método de interpolación por Kriging, para seleccionar áreas potencialmente aptas para la implementación del sistema agroforestal. Posteriormente, en las áreas previamente seleccionadas realizaron análisis de fertilidad. Se evidenció un mal drenaje en el 85% de los suelos y variación de la fertilidad entre media a baja. Finalmente, se concluyó que sólo el 15% de los suelos estudiados son potencialmente aptos para especies (arbóreas, agrícolas

y gramíneas) adaptadas a la zona y en asociación con un sistema agroforestal (Dávila & Márquez, 2007).

En Ecuador, se evaluaron sistemas agroforestales para la elaboración de un plan de manejo y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. La investigación está basada en la problemática ambiental producto de la actividad agrícola. Los resultados de análisis físico de los SAF reflejaron que los sistemas de producción tradicional (ST) presentan mayor vulnerabilidad a plagas y enfermedades en comparación a un SAF. De igual manera, los indicadores para el contenido de M.O con variaciones de 1 hasta el 5%, se encontró que el SAF presenta un índice de 5% vs % en ST. Con relación a la disponibilidad de nutrientes, el nitrógeno en el SAF es 54 ppm vs 28 ppm en ST; el fosforo en SAF es 14.5 mg/kg vs 12.2 mg/kg en ST. Finalmente, la disponibilidad de K en SAF es 0.18 % vs 0.11% en ST. Los resultados indican que los parámetros de la calidad del suelo permiten el desarrollo de los SAF. Con relación al manejo, los SAF poseen deficiencia en su desarrollo, por lo tanto, se recomienda mejorar su proceso con la implementación de actividades como: podas y regulación de sombra (Toala & Mercedes, 2016).

En Colombia, la investigación “Caracterización de nueve agroecosistemas de café de la cuenca del río Porce, Colombia, con un enfoque agroecológico”. Se evaluaron los atributos y los indicadores agrupados en tres dimensiones: económica, social y técnico-productiva. Durante sus pruebas los indicadores mostraron ser sensibles a las condiciones del agroecosistema y mostraron que podían ser fácilmente comprendidos por los agricultores. Se encontró que la baja productividad en los cafetales y el riesgo económico, son identificados como los principales problemas. La seguridad alimentaria tuvo valores altos en la mayor parte de las fincas a pesar de las deficiencias que tuvieron en la productividad del café (Vargas *et al.*, 2014).

En el departamento del Atlántico (Colombia), actualmente existen pocas investigaciones que evalúen directamente los sistemas agroforestales o detallen la importancia de los mismos.

Martínez Mera *et al.* (2017) a través de la investigación “Los suelos agrícolas del distrito de riego de Repelón, Atlántico” permitió tomar puntos de referencia para la evaluación de las características fisicoquímicas de los suelos, evidenciando que las actividades agrícolas y mineras son las principales causas de la contaminación en la zona. Así mismo, Yepes-Vargas & Sarmiento-Moreno (2016), mostraron la apropiación de los sistemas silvopastoriles (SSP) en predios de los municipios del sur del departamento del Atlántico (Campo de la Cruz, Candelaria, Santa Lucía, Manatí, Suan y Repelón), dicha investigación muestra como amenaza el rompimiento del Canal del Dique y las inundaciones producidas en el sur del departamento. La apropiación de SSP es planteada como estrategia para mejorar y/o aumentar la producción de leche en la zona. Si bien existen diferencias significativas entre los sistemas silvopastoriles y los sistemas agroforestales, la investigación mencionada permitió tomar puntos de referencia para la evaluación de sistemas agroforestales, apropiando la evaluación del suelo y las plantaciones de especies forestales.

7 Metodología

7.1 Descripción de las zonas de estudio

Se seleccionaron dos zonas del departamento del Atlántico para la implementación de los sistemas agroforestales:

- **Reserva Natural Banco Totumo Bijibana**

Se encuentra en el municipio de Repelón Localizado a 10°30' de latitud norte y 75°08' de longitud oeste (Figura 1) (Escolar, 2009). Además, presenta una altitud de 10m sobre el nivel del mar, el clima es tropical con temperaturas promedio de 28.5°C y precipitaciones de 972 mm promedio anual (Alcaldía de Repelón-Atlántico, 2018). Cuenta con 1,528 ha rodeadas de montañas, en donde se encuentran especies endémicas de bosque seco tropical y diversidad de fauna y flora. Hasta el momento se han identificado un total de 171 especies de aves, 20 especies de anfibios, 26 especies de reptiles, 21 especies de mamíferos, 21 familias de epifitas con 11 especies nuevas reportadas para el Caribe colombiano. En la reserva habitan aproximadamente 105 personas en 85 parcelas, para las cuales su principal actividad económica es la agricultura y la pequeña ganadería (Patiño, 2019).

- **El Humedal el Limón**

Se encuentra en el corregimiento de Las Compuertas en el Municipio de Manatí, localizado en 10°26'53" de latitud norte y 74°57'33" de longitud oeste (Figura 1). El municipio presenta una altitud de 7m sobre el nivel del mar, además un piso térmico cálido, cuenta con variaciones de temperatura de 28°C y precipitaciones de 1,004 mm, promedio anual (Alcaldía de Manatí-Atlántico, 2018). Esta zona fue destinada para fines ambientales por la Alcaldía del municipio. Según los habitantes del Humedal el Limón, este consta de alrededor 900 hectáreas compuestas de ecosistemas acuáticos de agua dulce y bosque seco tropical, Las principales actividades

económicas presentes son la pesca, la ganadería y agricultura a pequeña escala, actividades que benefician a alrededor de 23 familias (95 habitantes) en el humedal, y a los habitantes del corregimiento de Las Compuertas y el municipio de Manatí.

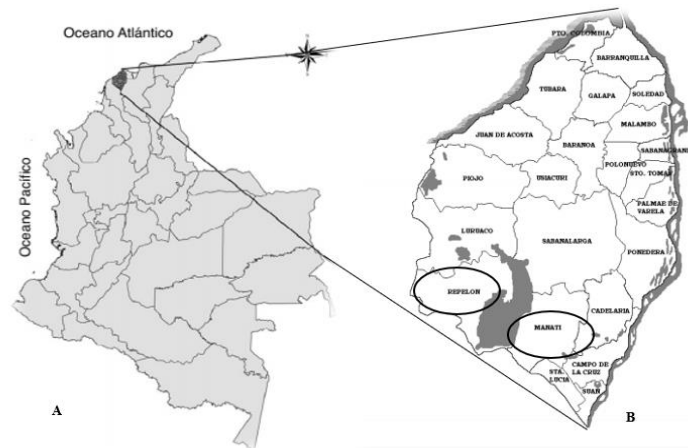


Figura 1. Localización geográfica del departamento del Atlántico. (A) Municipio de Repelón. (B) Corregimiento de Manatí. (Modificado de Torres-Bejarano *et al.*, 2016).

7.2 Fase de campo

7.2.1 Recolección de información primaria

La recolección de la información de este proyecto se llevó a cabo en conjunto con la Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA). Para taller se capacitaron 40 personas, quienes hicieron parte de la recolección de la información primaria. Las encuestas se realizaron con el fin de conocer la percepción sobre la posible o eventual desaparición de la flora nativa así como las posibles causas. La población encuestada fue seleccionada por los líderes de la comunidad, los cuales identificaron a las personas que a su criterio tienen mayores conocimientos sobre temas ambientales y agrícolas.

Se realizaron preguntas basadas en la percepción de los encuestados, enfocadas hacia las especies vegetales que se encuentran en peligro de extinción en los municipios, así mismo las razones por las cuales se considera la ausencia de las especies vegetales (Anexo 1). Además, se realizó la

descripción de los sistemas agroforestales plantados información obtenida de las personas responsables de la ejecución los sistemas, donde se contempla información como la cantidad de insumos, herramientas, especies forestales, especies maderables, especies frutales, personal necesario para la ejecución, así como las capacitaciones necesarias para la ejecución de dichos sistemas agroforestales.

7.2.2 Muestreo del suelo.

Para la caracterización del suelo se recolectaron 30 muestras. En el municipio de Repelón se tomaron 20 muestras en una hectárea de la Reserva Natural Banco Totumo Bijibana. El segundo muestreo se desarrolló en el corregimiento de las Compuertas que hace parte del municipio de Manatí, en el cual se recolectaron 10 muestras alrededor del Humedal el Limón. Cada muestra recolectada estuvo compuesta aproximadamente por un (1) kg de suelo. Inicialmente, se retiró el material vegetal de la superficie del suelo y se tomó la muestra a una profundidad de 0-30 cm. Las muestras se almacenaron en bolsas plásticas y fueron transportadas a temperatura ambiente para posteriormente ser procesadas en el laboratorio Ambiental de la Universidad de la Costa.

7.3 Fase experimental

Caracterización fisicoquímica de las muestras de suelo

Se evaluaron distintos parámetros físicos y químicos para cada una de las muestras de suelo de la Reserva natural Banco Totumo Bijibana y el Humedal el Limón. Donde a cada parámetro considerado se le realizaron tres replicas para posteriormente realizar el análisis estadístico de las mismas.

Parámetros físicos

7.3.1 Humedad

Se utilizó el procedimiento gravimétrico descrito en el manual de Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos del IGAC (2006). Inicialmente, las capsulas de porcelana, se secaron a 105°C durante 2 horas. Transcurrido el tiempo, se dejaron reposar por 15 min en un desecador para ser pesadas. Seguidamente, se adicionaron 10 g de suelo húmedo a cada capsula y se sometieron a secado durante 24 horas a una temperatura de 105°C. Al cumplir el tiempo de secado se sacaron las capsulas y se dejaron reposar en el desecador por 30 min, se procedió a pesar cada una de las muestras. El % humedad se determinó de acuerdo con la Ecuación 1:

$$\% \text{ humedad } (pw) = \frac{\text{Peso suelo humedo} - \text{Peso suelo seco}}{\text{Peso suelo humedo}} * 100$$

(Ecuación 1).

7.3.2 Textura

Se utilizó el procedimiento del IGAC (2006), utilizando el Hidrómetro de Bouyoucos-Densímetro. Para lo cual se pesaron 50 gr de suelo, los cuales se depositaron en un recipiente con tapa de 250 mL, luego se adicionaron 90 mL de agua y 10 mL del agente dispersante (hexametafosfato de sodio), luego se agitaron con ayuda del agitador magnético. La muestra se depositó en una probeta de 1,000 mL, se agitó la muestra y se realizó la lectura de la temperatura

y la densidad con el hidrómetro a los 40 segundos de haber terminado la agitación. Transcurridas dos horas se realizó la segunda lectura. Se emplearon las siguientes ecuaciones, para el cálculo de % de arena (Ecuación 2), % de arcilla (Ecuación 3) y % de limo (Ecuación 4):

$$\% \text{ Arena (2 a 0.05 mm)} = \frac{100 - \text{lectura a 40 s} \times (100 + pw)}{50 \text{ gr}}$$

(Ecuación 2).

$$\% \text{ Arcilla (< 0.002 mm)} = \frac{\text{lectura a las 2 h} \times (100 + pw)}{50 \text{ gr}}$$

(Ecuación 3).

$$\% \text{ Limo 0.05 a 0.002 mm)} = 100 - (\% \text{ arena} + \% \text{ arcilla})$$

(Ecuación 4).

Donde:

Pw: porcentaje de humedad en el suelo seco a 105 °C (factor de corrección de humedad).

Luego de obtenidos los porcentajes correspondientes, se utilizó el triángulo de textura para determinar la correspondiente a cada muestra.

7.3.3 Color

Se utilizó el método de Munsell, el cual se fundamenta en una comparación del suelo con los colores establecidos en el libro de color del suelo Munsell (Munsell, 2009). Se pesaron aproximadamente 10 g de suelo secado a 105°C y tamizado a 2 mm, posteriormente se agregaron 5 mL de agua y mezclaron hasta formar una pasta totalmente sólida, manualmente se realizó una esfera con dicha pasta. Luego se comparó y se determinó el color del suelo utilizando el libro de Munsell.

Parámetros Químicos

7.3.4 pH.

Para la determinación de pH (NTC 5264), se utilizó una relación 1:2 (suelo: agua). Se pesaron 10 g de suelo secado a una temperatura de 105°C y tamizado a 2 mm. Seguidamente, en un

beaker de 250 mL, se agregaron 20 mL de agua destilada para una solución, esta se sometió a agitación durante 15 min. Posteriormente se procedió a medir el pH, utilizando un pH-metro (modelo pH 100A del fabricante YSI).

7.3.5 Conductividad eléctrica

Se pesaron 30 g de suelo seco a una temperatura de 105°C y tamizado a 2 mm. En un beaker de 150 mL, se agregaron 20 mL de agua desionizada y se sometió la solución a agitación manual durante 5 min. Luego, se procedió a medir la conductividad, empleando un conductímetro (modelo HI9933201 del fabricante Hanna). Usando la ecuación 5:

$$CE = As * 2.3 / 0.64$$

(Ecuación 5) (manual conductímetro HI993320).

Donde:

As = actividad eléctrica leída por el equipo.

2.3= constante de CE del fabricante.

0.64= constante para salinidad del fabricante.

7.3.6 Salinidad

A partir del resultado de la conductividad eléctrica se determinó la salinidad del suelo mediante la ecuación 6 (Manual conductímetro HI993320), la cual expresa la salinidad en ppm:

$$\text{Contenido de sales} = As * 2.3$$

(Ecuación 6)

Donde:

As = actividad eléctrica leída por el equipo.

2.3= constante de CE del fabricante.

7.3.7 Fosforo disponible

Mediante el método B. Bray II (NTC 5350) se determinó el fósforo total en el suelo. Se pesaron 2.85 g de suelo, secado a 40°C y tamizado a 2 mm, se depositaron en beaker de 150 mL, al cual se agregaron 20 mL de solución de Bray II, y se sometieron a agitación durante 1 min. Una vez terminada la agitación se filtró la mezcla y se recogió el extracto filtrado en un beaker de 50 mL. Cumplido el tiempo de reposo (5 min aproximadamente), se procedió a realizar la lectura en un fotómetro. La cantidad de fósforo en el suelo se calculó de acuerdo con la ecuación 7:

$$P \text{ (mg/Kg de suelo)} = CC \times V_f \times V_i/p$$

(Ecuación 7).

Donde:

P (mg/kg de suelo) = fósforo presente en el suelo en mg/kg de suelo.

CC = lectura del equipo.

V_f= volumen final de la solución colorimétrica (mL).

V_i= volumen de la solución empleada para hacer el extracto (mL).

p= masa de la muestra.

7.3.8 Carbono Orgánico Total

El carbono orgánico presente en el suelo se determinó empleando una oxidación húmeda por el método (Walkley & Black, 1934). Se pesaron 0.3 g de suelo secado a 105°C y tamizado a 2 mm, depositados en un matraz erlenmeyer de 250 mL al que se le agregaron 10 mL de dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇) y 20 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄), seguidamente se mezcló la solución durante 30 segundos y se dejó enfriar por durante 30 min. Luego se añadieron 70 mL de agua destilada hasta obtener un volumen aproximado de 100 mL y se dejó enfriar. Posteriormente se agregó 1 mL de ácido fosfórico y se llevó a cabo el proceso de titulación con sulfato ferroso

amoniacal en presencia de ferroína como indicador. La cantidad de COT en el suelo se calculó de acuerdo con la ecuación 8:

$$\text{COT (\%)} = (Vb - Vm) * N * 0.003 * 100$$

(Ecuación 8).

Donde:

C.O. (%) = porcentaje del carbono orgánico total.

Vb = volumen (mL) de solución ferrosa gastado en el blanco.

Vm = volumen (mL) de solución ferrosa gastado en la muestra.

N = normalidad de solución ferrosa (0.5).

0.003 = Factor que representa el peso de 1 equivalente de Carbono en g por el 100% entre la eficiencia del 75%.

7.3.9 Materia Orgánica.

Para calcular la cantidad de materia orgánica en el suelo se utilizó el resultado del COT, se determinó mediante la ecuación 9:

$$\text{M. O (\%)} = \text{C. O. (\%)} \times 1.74$$

(Ecuación 9).

Donde:

M.O. (%) = porcentaje de materia orgánica.

C.O. (%) = porcentaje del carbono orgánico total.

1.74 = Factor donde se considera la abundancia promedio de C en materia orgánica que es 58%, por lo que, el factor de conversión para expresar el % C es 100/58.

7.3.10 Nitrógeno total.

Para la determinación del nitrógeno total presente en el suelo, se utilizó método propuesto por (Castellanos, 2000) donde se empleó la ecuación 10:

$$N (\%) = M.O (\%) \times 0.05$$

(Ecuación 10).

Donde:

N (%) = porcentaje del nitrógeno total.

M.O. (%) = porcentaje de materia.

0.05= factor de abundancia promedio de N en Materia orgánica.

7.3.11 Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C.)

La capacidad de intercambio catiónico del suelo se realizó utilizando el método de saturación con acetato de amonio 1N y pH 7, establecido por la NTC 5268. Se pesaron 5 g de suelo secado a 105°C y tamizado a 2 mm, se añadió la muestra a un matraz erlenmeyer de 250 mL, al cual se le agregaron 30 mL de acetato de amonio y se agitó la solución durante 30 min. Posteriormente, se filtró al vacío empleando lavados de 10 porciones de 5 mL de etanol al 96% (v/v), se descartó el filtrado, seguidamente se llevó al embudo buchner 5 porciones de 10 mL de cloruro de sodio al 10% (p/v) y se procedió a filtrar al vacío. El filtrado se depositó en un matraz erlenmeyer de 250 mL. Posteriormente, se añadieron 20 mL de formaldehído y se valoró con hidróxido de sodio al 0.2 N en presencia de fenolftaleína como indicador. La C.I.C. en el suelo se calculó de acuerdo con la ecuación 11:

$$CIC (meq/100 g) = V \times N \times (100 + pw) p$$

(Ecuación 11).

Donde:

V= volumen de la solución titulante (NaOH) (mL).

N= normalidad del titulante (NaOH) (0.2N).

pw= porcentaje de humedad del suelo.

p= masa del suelo.

7.4 Construcción de indicadores

Teniendo en cuenta la caracterización fisicoquímica de las zonas de estudio, así como la información de adaptabilidad de las especies a las condiciones ambientales (reporte de la literatura), se construyeron indicadores para determinar la capacidad de adaptación de las especies. Para ello, se determinaron tres indicadores, 1: prosperan con poca dificultad; 2: prosperan con mayores dificultades o presentan problemas para su manejo; 3: difícilmente pueden prosperar o presentan muchos problemas para su manejo (Dávila & Márquez, 2007). Mediante la correlación de estos parámetros óptimos, se asignaron los valores de los indicadores.

7.5 Estimación de costos

Se recolectaron los costos directos e indirectos de la implementación del sistema agroforestal relacionados con los materiales e insumos, transportes, alimentación, capacitación, honorarios y mano de obra. En cada uno de los sistemas agroforestales evaluados en las cercanías de los municipios de repelón y manatí, fue necesario contar con un director de proyecto, cuatro (4) capacitadores y 40 jornaleros, los cuales asistieron a 5 jornadas de capacitación (talleres) con 10 horas de duración cada una. Los talleres se titularon: “¿Cómo producir plantas maderables, frutales y nativas?”; “Desarrollo de proyectos Agroforestales”; “Talleres de recuperación paisajística en centros poblados” y “Conservación de la biodiversidad”. De igual manera, se realizó la siembra o plantación de 1,158 árboles maderables y frutales de 26 especies diferentes. Fue necesario la utilización de herramientas de trabajo por cada municipio: 20 palas, 2 bombas de fumigar y 20 palas draga. Además, se utilizaron insumos como: 361 bultos de abono, 11 hidroretenedores, 3 litros de lorsban y un rollo de poli-sombra (Anexo 2). Finalmente, elementos de protección para el trabajo de campo: 40 pares de guantes y 20 gafas de seguridad.

De los ítems anteriores se consolidó una matriz para cada uno de ellos, las cuales constaron de listados de artículos, insumos, personal, etc., así como la cantidad a implementar, costo

unitario, subtotal y total por cada indicador. Esta información se obtuvo directamente con los proveedores por medio del suministro a detalle el costo de cada insumo, material vegetal y herramientas de trabajo. Posteriormente, se realizó una matriz de costos totales, obteniendo el costo total de la implementación de cada uno de los sistemas agroforestales, así como el costo total de la implementación del proyecto.

7.6 Análisis estadístico

Se utilizó estadística descriptiva para los análisis edafológicos, empleando métodos de frecuencia absoluta para los resultados cualitativos como color y textura, para los cuantitativos se calculó promedio y desviación estándar. Todos los análisis fueron realizados por medio del programa estadístico Statgraphics v.16.1.18.

8 Resultados y Discusión

8.1 Encuestas a los habitantes de los municipios de Repelón y Manatí

A partir de las encuestas realizadas, se determinó que las especies consideradas en peligro de extinción incluyen especies frutales, maderables y aromáticas (Tabla 8). En las dos zonas, los habitantes coinciden en especies en común como: *Ocimum basilicum* (albahaca), *Annona squamosa* (anón), *Prunus domestica* (ciruela), *Eucalyptus* (eucalipto), *Inga edulis* (guama), *Annona muricata* (guanábana), *Mentha spicata* (hierba buena), *Melicoccus bijugatus* (mamón), *Gliricidia sepium* (matarratón), *Melissa officinalis* (toronjil), *Prosopis juliflora* (trupillo). Las razones que justifican la ausencia o peligro de estas especies incluyen el cambio climático, inadecuada técnicas agroecológicas, malas prácticas, infertilidad en los suelos, desbordamiento del Canal del Dique en el 2010 y falta de apoyo de los entes gubernamentales.

Tabla 8

Especies vegetales consideradas en peligro por las personas encuestadas, en los municipios de Manatí y Repelón

Especie	Repelón		Manatí	
	Frecuencia	%	Frecuencia	%
<i>Bixa orellana</i> (achiote)	1	1.2	0	0
<i>Ceratonia siliqua</i> (algarrobo)	3	3.5	0	0
<i>Capsicum frutescens</i> (ají picante)	1	1.2	0	0
<i>Ocimum basilicum</i> (albahaca)	2	2.4	3	6.8
<i>Annona squamosa</i> (anón)	1	1.2	4	9.1
<i>Calathea lutea</i> (bijao)	1	1.2	0	0
<i>Samanea saman</i> (campano)	1	1.2	0	0
<i>Cassia grandis</i> (cañandonga)	1	1.2	0	0
<i>A. excelsum</i> (caracolí)	3	3.5	0	0
<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (carito)	4	4.7	0	0
<i>Allium fistulosum</i> (cebolla de hoja)	3	3.5	0	0
<i>Annona cherimola</i> (chirimoya)	1	1.2	0	0
<i>Prunus domestica</i> (ciruela)	1	1.2	2	4.5
<i>Eucalyptus</i> (eucalipto)	5	5.9	1	2.3
<i>Inga edulis</i> (guama)	0	0	2	4.5

<i>Annona muricata</i> (guanábana)	2	2.4	4	9.1
<i>Cajanus cajan</i> (guandú)	2	2.4	0	0
<i>P. chilensis</i> (guayacán)	3	3.5	0	0
<i>Prunus cerasus</i> (guinda)	1	1.2	0	0
<i>M. maximus</i> (hierba guinea)	2	2.4	1	2.3
<i>Cymbopogon</i> (hierba limón)	1	1.2	1	2.3
<i>D. eriantha</i> (hierba pangola)	1	1.2	1	2.3
<i>Mentha spicata</i> (hierba buena)	4	4.7	1	2.3
<i>Spondias mombin</i> (jobo)	2	2.4	0	0
<i>Butomus umbellatus</i> (junco)	2	2.4	0	0
<i>Melicoccus bijugatus</i> (mamón)	2	2.4	4	9.1
<i>Citrus reticulata</i> (mandarina)	0	0	4	9.1
<i>Mangifera indica</i> (mango)	0	0	7	15.9
<i>Anacardium occidentale</i> (marañón)	0	0	2	4.5
<i>Gliricidia sepium</i> (matarratón)	3	3.5	3	6.8
<i>Morinda citrifolia</i> (noni)	1	1.2	0	0
<i>O. europaea</i> (olivo)	0	0	0	0
<i>Origanum vulgare</i> (orégano)	0	0	0	0
<i>Dysphania ambrosioides</i> (paico)	2	2.4	0	0
<i>Cynoglossum officinale</i> (paja de conejo)	2	2.4	0	0
<i>Sabal mauritiiformis</i> (palma amarga)	2	2.4	0	0
<i>Attalea butyracea</i> (palma de vino)	1	1.2	0	0
<i>Chamaerops humilis</i> (palmito)	1	1.2	0	0
<i>Carica papaya</i> (papaya)	1	1.2	0	0
<i>Jatropha curcas</i> (piñón)	0	0	0	0
<i>Tabebuia rosea</i> (roble morado)	5	5.9	0	0
<i>Melissa officinalis</i> (toronjil)	0	0	3	6.8
<i>Prosopis juliflora</i> (trupillo)	3	3.5	0	0
<i>Uncaria tomentosa</i> (uña de gato)	1	1.2	0	0
<i>Cordia alba</i> (uvita)	3	3.5	0	0
<i>Portulaca oleracea</i> (verdolaga)	1	1.2	0	0

Fuente: Elaboración propia

8.2 Especies sembradas en los sistemas agroforestales evaluados

Se sembraron en cada uno de los sistema agroforestales 1,158 árboles maderables y frutales de 26 especies diferentes, se sembraron 42 árboles por especie exceptuando los 167 árboles de mango167 y las 67 plantas de maní forrajero (Tabla 9).

Tabla 9

Especies maderables y frutales utilizadas en cada uno de los sistemas agroforestales

Especie	Cantidad	Tipo
Bálsamo (<i>Myroxylon balsamum</i>)	42	Árbol Maderable
Buche (<i>Melocactus curvispinus</i>)	42	Árbol Maderable
Camajón (<i>Sterculia apetala</i>)	42	Árbol Maderable
Campano (<i>Albizia sama</i>)	42	Árbol Maderable
Caracolí (<i>Anacardium excelsum</i>)	42	Árbol Maderable
Carito (<i>Enterolobium cyclocarpum</i>)	42	Árbol Maderable
Ceiba blanca (<i>Hura crepitans</i>)	42	Árbol Maderable
Ceiba bonga (<i>Ceiba pentandra</i>)	42	Árbol Maderable
Ceiba roja (<i>Bombacopsis quitana</i>)	42	Árbol Maderable
Ébano (<i>Caesalpinia ebano</i>)	42	Árbol Maderable
Guamaro (<i>Inga spuria</i>)	42	Árbol Maderable
Guayaba (<i>Psidium guajava</i>)	42	Árbol Frutal
Guayacán (<i>Tabebuia Chrysantha</i>)	42	Árbol Maderable
Indio desnudo (<i>Bursera simaruba</i>)	42	Árbol Maderable
Mamón (<i>Melicoccus bijugatus</i>)	42	Árbol Frutal
Mango (<i>Mangifera indica</i>)	167	Árbol Frutal
Maní forrajero (<i>Arachis pinto</i>)	67	Planta ornamental
Níspero (<i>Manilkara zapota</i>)	42	Árbol Frutal
Olla de mono (<i>Lecythis minor</i>)	42	Árbol Maderable
Roble morado (<i>Tabebuia rosea</i>)	42	Árbol Maderable
Trébol (<i>Platymiscium pinnatum</i>)	42	Árbol Maderable
Trupillo (<i>Prosopis juliflora</i>)	42	Árbol Maderable
Uva morada (<i>Cordia alba</i>)	42	Árbol Maderable
Volador (<i>Terminalia oblonga</i>)	42	Árbol Maderable
Total	1158	

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta que las especies *Albizia saman* (Campano), *Ceiba pentandra* (Ceiba bonga), *Bursera simaruba* (indio desnudo), *Melicoccus bijugatus* (mamón), *Mangifera indica* (mango), *Manilkara zapota* (níspero), *Lecythis minor* (olla de mono) y *Tabebuia rosea* (roble morado) son consideradas como amenazadas o en peligro por los habitantes del municipio de Repelón y el corregimiento las Compuertas, se correlacionaron sus requerimientos ambientales (clima, precipitación y altitud) con las propiedades fisicoquímicas del suelo (textura, humedad y pH).

8.3 Caracterización fisicoquímica de las muestras de suelo

8.3.1 Reserva Natural Banco Totumo Bijibana

Los resultados de las propiedades fisicoquímicas de los suelos de la Reserva Natural Banco Totumo Bijibana (Tabla 10), se caracterizan por tener humedad media (25.24 %). La textura predominante fue franco limoso. Los colores más representativos fueron negro (10YR 2/1) y gris muy oscuro (7.5YR 3/1) (anexo 3). El pH varió entre ácido (4.9) a neutro (7). El % M.O fue bajo (0.63 %). La CE fue baja (0.75 dS/m) al igual que la salinidad, con valores menores a 1.4 ppm. Por otra parte, la CIC presenta niveles altos (53.63 meq/100g). Finalmente, los macronutrientes N (0.03%) y P (62.12 mg/kg de suelo), presentaron valores bajo y alto, respectivamente.

Tabla 10

Resultados de parámetros fisicoquímicos del suelo Reserva Natural Banco Totumo Bijibana

Suelo	Pw (%) ±DE	Textura	Color	pH ±DE	CE (dS/m) ±DE	Salinidad (ppm) ±DE	P (mg/Kg de suelo) ±DE	M.O (%) ±DE	N (% ±DE)	CIC (meq/100g) ±DE
1	25.33 ±0.13	FA	5YR 2.5/1	5.75 ±0.12	0.5 ±0.05	0.78 ±0.07	71.39 ±16.10	2.3 ±0.18	0.11 ±0.08	54.85 ±12.32
2	24.62 ±0.22	FA	5YR 2.5/1	5.6 ±0.13	0.87 ±0.04	1.35 ±0.05	68.86 ±5.32	2.16±0.20	0.11 ±0.01	50.3 ±2.51
3	23.95 ±1.21	L	5YR 2.5/2	5.46 ±0.19	0.82 ±0.04	1.28 ±0.05	70.73 ±17.02	0.03±0.03	0 ±0.00	48.57 ±6.03
4	24.59 ±0.31	FL	10YR 3.0/2	5.91 ±0.41	0.86 ±0.19	1.34 ±0.29	51.64 ±4.18	0.11±0.07	0.01 ±0.00	48.1 ±4.99
5	25.06 ±0.32	FL	7.5YR 2.5/1	6.2 ±0.22	0.98 ±0.12	1.53 ±0.18	43.44 ±8.06	0.31±0.07	0.02 ±0.00	47.71 ±0.59
6	26.64 ±4.61	FL	7.5YR 2.5/2	6.25 ±0.12	0.84 ±0.04	1.32 ±0.05	47.69 ±11.00	0.78±0.08	0.04 ±0.00	58.77 ±8.39
7	22.06 ±0.17	L	7.5YR 2.5/2	6.0 ±0.14	0.79 ±0.09	1.23 ±0.14	61.5 ±10.01	0.5 ±0.09	0.03 ±0.00	54 ±20.61
8	23.09 ±0.73	L	2.5YR 2.5/2	5.18 ±0.27	0.77 ±0.10	1.2 ±0.15	56.1 ±1.42	0.23±0.02	0.01 ±0.00	60.86 ±28.43
9	25.59 ±0.63	FL	10YR 2.0/1	5.58 ±0.07	1.01 ±0.06	1.58 ±0.10	45.98 ±13.41	0.17±0.13	0.01 ±0.01	41.32 ±2.22
10	25.71 ±0.25	FL	10YR 2.0/1	4.96 ±0.15	0.68 ±0.07	1.07 ±0.12	67.23 ±11.70	0.28±0.09	0.01 ±0.00	54.42 ±1.34
11	25.53 ±0.19	FL	10YR 2.0/1	5.1 ±0.11	0.9 ±0.11	1.41 ±0.17	48.09 ±17.70	0.17±0.05	0.01 ±0.00	43.14 ±2.64
12	30.27 ±1.33	FL	5YR 2.5/1	5.93 ±0.13	0.63 ±0.15	0.98 ±0.23	75.87 ±2.54	1.34±0.05	0.07 ±0.00	61.01 ±3.49
13	29.87 ±0.32	FL	2.5YR 2.5/1	6.34 ±0.18	0.74 ±0.20	1.16 ±0.31	72.52 ±4.80	0.46±0.07	0.02 ±0.00	60.7 ±11.97
14	29.17 ±1.23	FL	5YR 3.0/1	6.3 ±0.13	0.77 ±0.04	1.2 ±0.05	51.84 ±19.27	0.3 ±0.04	0.01 ±0.00	62.15 ±12.33
15	25.89 ±0.29	FL	7.5YR 4.0/1	6.57 ±0.07	0.71 ±0.15	1.11 ±0.24	73.07 ±19.32	0.79±0.08	0.04 ±0.00	52.49 ±17.02
16	23.7 ±0.55	FL	10YR 3.0/1	6.26 ±0.12	0.56 ±0.24	0.87 ±0.38	67.3 ±13.13	0.58±0.11	0.03 ±0.01	65.32 ±4.95
17	20.9 ±2.23	FL	5YR 3.0/1	6.61 ±0.04	0.66 ±0.22	1.03 ±0.35	87.33 ±1.09	0.51±0.09	0.03 ±0.00	50.44 ±16.30
18	20.39 ±0.54	FL	7.5YR 3.0/1	7.08 ±0.22	0.61 ±0.15	0.95 ±0.23	62.28 ±1.86	0.78±0.07	0.04 ±0.00	63.24 ±4.55
19	25.8 ±0.92	FL	7.5YR 3.0/1	6.09 ±0.47	0.51 ±0.04	0.8 ±0.05	55.39 ±9.72	0.26±0.07	0.01 ±0.00	47.07 ±3.34
20	26.72 ±0.68	FL	5YR 2.5/1	6.26 ±0.35	0.87 ±0.09	1.37 ±0.14	64.22 ±3.17	0.52±0.08	0.03 ±0.00	48.09 ±3.19
Promedio	25.24			5.97	0.75	1.18	62.12	0.63	0.03	53.63

DE: desviación estándar; FA= Franco arcilloso; FL=Franco; limoso; L=limo; CIC: Capacidad de Intercambio catiónico; CE= conductividad Eléctrica; MO= materia orgánica; P= fosforo; N= nitrógeno.

Fuente: Elaboración propia

El % de humedad de los suelos de la reserva natural Banco totumo Bijibana es óptima. Por lo tanto, la capacidad de retener agua en los suelos evaluados no presenta impedimento el desarrollo de las especies en el sistema agroforestal. La textura franco-limosa se considera mediana y se caracteriza por ser suelos impermeables, es decir, poco porosos con alta capacidad para retener agua y nutrimentos (Garrido-Várelo, 1994; Rucks *et al.*, 2004). Dicha textura, es ideal para la producción agrícola por su amplia capacidad productiva y disponibilidad de agua y nutrientes, no obstante, pueden o no ser friables y a medida que se incremente la proporción de limo tienen mayor potencial de compactación, lo cual puede dificultar parcialmente su manejo (Castellanos, 2015). Los resultados de pH indican que es un suelo ácido cercano a la neutralidad, por lo tanto, no existen mayores impedimentos para el desarrollo de las especies agroforestales. La coloración del suelo fue negra, aunque esta puede relacionarse con el alto contenido de M.O o saturación de azufre (Aguilar, 2017), los suelos presentaron bajo contenido de M.O. El bajo % de M.O se encuentra relacionado con la textura, suelos de texturas limosas y franco limosas, se caracterizan por tener baja M.O. Además, la baja aeración del suelo, baja actividad biológica y pocos procesos de mineralización (Castellanos, 2015). Por otra parte, la baja CE, demuestra que el suelo no es salino, es decir, no presenta restricción o dificultad para el desarrollo de las especies sembradas (Gilabert de Brito, 2015). La CIC es elevada indicando que el suelo es muy rico en nutrimentos y bases intercambiables, aunque su contenido de M.O sea bajo, el suelo es apto para desarrollar cualquier cultivo al ser capaz de intercambiar nutrientes con las especies sembradas (Garrido-Várelo, 1994). Finalmente, el macronutriente N presenta disponibilidad baja, debido a la baja disponibilidad M.O en el suelo (Quintero, 1993). Por el contrario, el alto contenido de P se relaciona con la alta CIC y la alta disponibilidad de este nutriente para las especies sembradas, siendo el suelo apto y fértil sin impedimentos para el desarrollo de cultivos o plantaciones (Gilabert de Brito, 2015).

8.3.2 Humedal el Limón

Los resultados de las propiedades edáficas de los suelos del Humedal el Limón (Tabla 11), se caracterizan por tener humedad media (8.12%). La textura predominante es limo y el color representativo es marrón amarillento oscuro (10 YR 4/4) (anexo 3). Adicionalmente, el pH es ácido cercano a neutro con valores entre 4.6 y 6.4. El % de M.O fue bajo (1.14 %). La CE fue baja comprendida en 0,15 dS/m, al igual que la salinidad, con valores menores a 0.32 ppm. Por otra parte, la CIC presenta niveles bajos menores a 12. 2 meq/100g. Finalmente los macronutrientes N (0.06 %) y P (79.31 mg/Kg de suelo), presentaron valores bajo y alto, respectivamente.

Tabla 11

Resultados de parámetros fisicoquímicos del suelo del Humedal el Limón

Suelo	Pw (%) \pm DE	Textura	Color	pH \pm DE	CE-(dS/m) \pm DE	Salinidad (ppm) \pm DE	P (mg/kg de suelo) \pm DE	M.O. (%) \pm DE	N (%) \pm DE	CIC (meq/100g) \pm DE
1	10.43 \pm 6.35	L	10 YR 4/4	4.91 \pm 0.10	0.12 \pm 0.01	0.19 \pm 0.02	53.41 \pm 4.27	0.75 \pm 0.13	0.04 \pm 0.01	12.26 \pm 1.18
2	15.45 \pm 8.45	L	10 YR 3/4	5.41 \pm 0.11	0.18 \pm 0.03	0.28 \pm 0.05	67.01 \pm 2.85	1.13 \pm 0.24	0.06 \pm 0.01	10.9 \pm 8.24
3	7.52 \pm 1.83	L	7.5 YR 4/4	4.64 \pm 0.34	0.07 \pm 0.00	0.11 \pm 0.00	53.2 \pm 11.67	0.84 \pm 0.08	0.04 \pm 0.00	6.57 \pm 1.07
4	5.58 \pm 0.16	L	10 YR 4/3	6.34 \pm 0.01	0.19 \pm 0.23	0.3 \pm 0.36	77.34 \pm 12.95	1 \pm 0.18	0.05 \pm 0.01	5.87 \pm 0.39
5	7.62 \pm 0.08	L	10 YR 4/6	6.02 \pm 0.05	0.15 \pm 0.03	0.24 \pm 0.04	110.58 \pm 9.65	1.26 \pm 0.13	0.06 \pm 0.01	8.64 \pm 1.10
6	6.58 \pm 0.44	L	10 YR 4/4	5.15 \pm 0.16	0.11 \pm 0.01	0.17 \pm 0.02	85.03 \pm 17.22	1.19 \pm 0.01	0.06 \pm 0.00	8.04 \pm 0.69
7	6.89 \pm 0.17	L	7.5 YR 3/2	5.01 \pm 0.13	0.21 \pm 0.02	0.32 \pm 0.04	72.85 \pm 5.48	1.35 \pm 0.15	0.07 \pm 0.01	9.07 \pm 0.62
8	7.36 \pm 3.88	L	10 YR 4/6	5.09 \pm 0.20	0.13 \pm 0.01	0.2 \pm 0.02	92.28 \pm 8.18	1.29 \pm 0.16	0.06 \pm 0.01	8.2 \pm 0.86
9	6.95 \pm 0.19	L	10 YR 3/2	5.57 \pm 0.32	0.14 \pm 0.04	0.22 \pm 0.06	109.13 \pm 5.84	1.35 \pm 0.15	0.07 \pm 0.01	7.64 \pm 0.42
10	6.83 \pm 0.17	L	10 YR 4/4	6.43 \pm 0.03	0.16 \pm 0.04	0.25 \pm 0.06	72.23 \pm 15.89	1.29 \pm 0.16	0.06 \pm 0.01	8.5 \pm 0.91
\bar{X}	8.12			5.45	0.15	0.23	79.31	1.14	0.06	8.56

DE: desviación estándar; L=limo; CIC: Capacidad de Intercambio catiónico; CE= conductividad Eléctrica; MO= materia orgánica; P= fosforo; N= nitrógeno.
Fuente: Elaboración propia

Aunque en el Humedal el Limón la retención de agua de los suelos es baja, no es una limitante, ya que el porcentaje de humedad no llega a ser insuficiente o muy bajo; para lo anterior se debe contemplar que en las épocas de sequía se debe garantizar el suministro de agua para los árboles plantados. La textura limosa, es media, caracterizada por ser de suelos impermeables, es decir, poco porosos, sin embargo, presentan alta capacidad para retener agua y nutrimentos siendo suelos fértiles si se garantiza el recurso hídrico. (Garrido-Várelo, 1994; Rucks *et al.*, 2004). El pH ácido puede generar problemas en el rendimiento del cultivo, aunque no está en el rango crítico (5.4) lo cual indica pocos impedimentos para el desarrollo de las especies agroforestales (Gilabert de Brito, 2015). El color marrón amarillento oscuro; suponen suelos bajos o medios en materia orgánica, fertilidad y productividad (Gardi *et al.*, 2014); resultado que concuerda con el bajo % M.O, relacionado con la baja actividad biológica y la aeración del suelo (Castellanos, 2015). La salinidad y CE bajas, indica que los suelos están libres de sales o poco afectados por sales, por ello son aptos para la producción agrícola (Gilabert de Brito, 2015). La CIC baja, se relaciona con el poco contenido de arcilla y M.O (Garrido-Várelo, 1994). Por último, el macronutriente N presenta disponibilidad baja, debido a la escasa disponibilidad M.O en el suelo (Quintero, 1993). Por el contrario, el alto contenido de P evidencia la alta disponibilidad de este nutriente para las especies sembradas, siendo el suelo apto y fértil sin impedimentos para el desarrollo de cultivos o plantaciones (Gilabert de Brito, 2015).

8.4 Correlación de especies seleccionadas con las condiciones en las zonas de estudio

8.4.1 Condiciones ambientales de las zonas de estudio

Como se mencionó en la sección anterior, las dos zonas de estudio presentan variabilidad en los parámetros fisicoquímicos del suelo. De igual manera, las condiciones ambientales son ligeramente diferentes (Tabla 12).

Tabla 12

Condiciones ambientales de la Reserva Natural Banco Totumo Bijibana y el Humedal el Limón.

Zona	R. N. Banco Totumo Bijibana	Humedal el Limón
Humedad (%)	25.24	8.12
Textura	Franco limoso	Limoso
pH	5.97	5.46
Temperatura (°C)	28.5	28
Precipitaciones (mm)	972	1004
Altitud (m)	10	7

Fuente: Elaboración propia

8.4.2 Requerimientos de suelo y condiciones ambientales entorno para las especies seleccionadas

Para la correlación de los requerimientos de suelo y las condiciones ambientales de las especies seleccionadas, se buscó la información en diferentes bases de datos. Se obtuvo datos de condiciones ambientales (temperatura, altitud y precipitación) y edafológicas (humedad, textura y pH) (Tabla 13).

Tabla 13

Requerimientos edáficos y ambientales de los árboles forestales sembrados

Especie	Humedad (%)	Textura	pH	Temperatura (°C)	Precipitación* (mm)	Altitud (msnm)	Referencia
<i>Albizia saman</i> (Campano)	5 – 30	L, M, P	4.6-8.0	20-35	800-2,500	0 – 1,300	Florez & Vozzo, 2010
<i>Ceiba pentandra</i> (Ceiba bonga)	10 – 20	M, P	4.7-6.9	20-35	1,500-2,500	0 - 700	Heuzé & Tran, 2017
<i>Bursera simaruba</i> (indio desnudo)	5 – 30	L, M, P	4.5-8.0	18-27	800-3,000	0 – 1,200	CONAFOR (s.f.)
<i>Melicoccus bijugatus</i> (mamón)	5 – 30	L, M, P	5.5-7.0	22-30	900-2,600	0 – 1,000	Fern, 2014
<i>Mangifera indica</i> (mango)	10 - 25	L, M, P	5.5-7.5	22-27	1,000-1,500	0 – 1,200	Bally, 2006; Gamboa & Mora, 2010
<i>Manilkara zapota</i> (níspero)	5 – 15	M, P	5.5-8.5	24-34	1,000-1,500	0- 1,100	Fern, 2014
<i>Lecythis minor</i> (olla de mono)	10 - 30	L, M, P	4.5-8.0	24-34	1,500-2,500	0 - 700	Fern, 2014
<i>Tabebuia rosea</i> (roble morado)	5 – 30	M, P	5.3-7.0	19-27	1,200-2,500	0 – 1,200	UICN, (s.f.)

Nota: información tomada de diversas fuentes y adaptada a consideración en el presente trabajo. Textura: L (ligera), M (media), P (pesada); *Precipitación anual.

Fuente: Elaboración propia

8.4.3 Correlación de las especies seleccionadas con las condiciones ambientales de la Reserva Natural Banco Totumo Bijibana

Los parámetros ambientales y edafológicos evaluados obtuvieron en su mayoría puntuación de 1, es decir, son adecuados para el desarrollo de las especies forestales (Tabla 14). Las especies *Albizia saman* (campano), *Bursera simaruba* (indio desnudo), *Melicoccus bijugatus* (mamón), *Mangifera indica* (mango), *Manilkara zapota* (níspero), *Tabebuia rosea* (roble morado) no presenta mayores dificultades para su introducción en la zona de estudio, ya que sus requerimientos están acordes con lo ofrecido por la Reserva Natural Banco Totumo Bijibana. Para la *Ceiba pentandra* (ceiba bonga) y *Lecythis minor* (olla de mono), de acuerdo con las condiciones ofrecidas por la zona, se tiene que son buenas y prosperaría con pocas dificultades, esta estaría representada por la precipitación anual, ya que ella estas especies se desarrollan óptimamente con lluvias anuales comprendidas entre 1,500 y 2,500 mm mientras que la zona de estudio ofrece precipitaciones anuales de 972 mm, para su óptimo desarrollo, se recomienda garantizar el recurso hídrico.

Tabla 14

Correlación de las especies con las condiciones ambientales y edáficas de la Reserva Natural Banco Totumo Bijibana

Especie	Humedad (25.24%)	Textura (FL)	pH (5.97)	Temperatura (28.5 °C)	Precipitación (972mm)	Altitud (10m)
<i>Albizia saman</i> (Campano)	1	1	1	1	1	1
<i>Ceiba pentandra</i> (Ceiba bonga)	1	1	1	1	2	1
<i>Bursera simaruba</i> (indio desnudo)	1	1	1	1	1	1
<i>Melicoccus bijugatus</i> (mamón)	1	1	1	1	1	1
<i>Mangifera indica</i> (mango)	1	1	1	1	1	1

<i>Manilkara zapota</i> (níspero)	1	1	1	1	1	1
<i>Lecythis minor</i> (olla de mono)	1	1	1	1	2	1
<i>Tabebuia rosea</i> (roble morado)	1	1	1	1	1	1

Nota: Textura FL: franco limoso. 1: prosperan con poca dificultad; 2: prosperan con mayores dificultades o presentan problemas para su manejo. Fuente: Elaboración propia

8.4.4 Correlación de las especies seleccionadas con las condiciones ambientales del Humedal el limón

Los parámetros ambientales y edafológicos evaluados obtuvieron variación en la puntuación (Tabla 15.) Las especies *Albizia saman* (Campano), *Melicoccus bijugatus* (mamón), *Mangifera indica* (mango), *Manilkara zapota* (níspero) y *Tabebuia rosea* (roble morado), se adaptan a las condiciones edafológicas y ambientales, donde prosperaría con pocas dificultades. Entre los factores que afectarían el desarrollo predomina el pH. Para las especies anteriormente mencionadas, el valor optimo está comprendido en el rango de 5.5 – 8, mientras que, los suelos del Humedal el Limón presentan pH 5.4. Por otra parte, el % humedad y la precipitación también representan dificultad para los árboles *Ceiba pentandra* (Ceiba bonga) y *Lecythis minor* (olla de mono). En la zona estudio el % de humedad varía entre 8.12% y lluvias anuales alrededor de 1004 mm, entre tano, los requerimientos de las especies exigen un rango de 10-25 % humedad y precipitaciones entre 1,500 y 2,500 mm. Estos resultados muestran que, la mayor restricción para estas especies es el recurso hídrico, la humedad que retiene el suelo es insuficiente al igual que la cantidad de precipitaciones anuales. Por último, la especie *Bursera simaruba* (indio desnudo) no presenta mayores dificultades para su introducción en la zona de estudio, ya que sus requerimientos están acordes con lo ofrecido por el Humedal el Limón.

Tabla 15

Correlación de las especies con las condiciones ambientales y edáficas del Humedal el Limón

Especie	Humedad (8.12%)	Textura (L)	pH (5.46)	Temperatura (28°C)	Precipitaciones (1004mm)	Altitud (7m)
<i>Albizia saman</i> (Campano)	1	1	2	1	1	1
<i>Ceiba pentandra</i> (Ceiba bonga)	2	1	1	1	2	1
<i>Bursera simaruba</i> (indio desnudo)	1	1	1	1	1	1
<i>Melicoccus</i> <i>bijugatus</i> (mamón)	1	1	2	1	1	1
<i>Mangifera indica</i> (mango)	1	1	2	1	1	1
<i>Manilkara zapota</i> (níspero)	1	1	2	1	1	1
<i>Lecythis minor</i> (olla de mono)	2	1	1	1	2	1
<i>Tabebuia rosea</i> (roble morado)	1	1	2	1	1	1

Nota: Textura L: limoso. 1: prosperan con poca dificultad; 2: prosperan con mayores dificultades o presentan problemas para su manejo. Fuente: elaboración propia

8.5 Estimación de costos

En los dos municipios la cantidad de jornadas de capacitaciones, los insumos y los requerimientos para el establecimiento de las zonas agroforestales fueron iguales. El total del capital invertido, el cual se descompone en:

8.5.1 Costos de activos fijos

Se contemplaron los costos directos de las herramientas, utensilios, equipos y demás elementos para la implementación de los sistemas. El costo asociado a la totalidad de herramientas de trabajo y elementos es de \$ 4'156,000 (cuatro millones ciento cincuenta y seis mil pesos colombianos) (Tabla 16).

Tabla 16 .

Herramientas, elementos y utensilios para la implementación de los sistemas agroforestales

Nombre	Municipios	Costo (\$/Unidad)	Cantidad	Total (\$)
Pala	1 y 2	\$ 20,000	40	\$ 800,000
Bomba de fumigar	1 y 2	\$ 49,000	4	\$ 196,000
Guantes	1 y 2	\$ 12,000	80	\$ 960,000
Gafas de trabajo	1 y 2	\$ 4,500	80	\$ 360,000
Pala draga	1 y 2	\$ 46,000	40	\$ 1'840,000
Subtotal				\$ 4'156,000

Municipios 1: Repelón; Municipio 2: las Compuertas (Manatí). Fuente: Elaboración propia

8.5.2 Costo capital de trabajo

Para el caso se contó con un director, quien estuvo a cargo de la coordinación del proyecto; cuatro capacitadores para los dos sistemas agroecológicos implementados y 40 jornaleros en cada uno de los municipios, los cuales trabajaron un solo día (Tabla 17).

Tabla 17

Remuneraciones, honorarios e incentivos para la implementación de los sistemas agroforestales.

Item	Cantidad	Honorarios \$/mes	Remuneraciones	Subtotal \$/mes	Meses contratados	Total \$
Director	1	\$ 1'600,000	\$ -	\$ 1'600,000	4	\$6'400,000
Capacitador	4	\$ 1'200,000	\$ -	\$ 1'200,000	4	\$19'200,000
Jornaleros						
Compuertas	40	\$ -	\$ 30,000	\$ 30,000	1	\$1'200,000
Repelón	40	\$ -	\$ 30,000	\$ 30,000	1	\$1'200,000
Subtotal						\$28'000,000

Fuente: Elaboración propia

8.5.3 Costos de arranque

Dentro de los costos de arranque se contempla los costos de transporte del personal (director y capacitadores), los viáticos diarios correspondientes, transporte de los equipos y/o herramientas, así como el material vegetal empleado (Tabla 18).

Tabla 18

Pasajes y viáticos para la implementación de los sistemas agroforestales

Objetivo del Viaje	Municipios	Personal	*Valor Unitario Pasaje (\$)	Subtotal Pasaje (\$)	Viáticos Diarios	Días	Subtotal Viáticos (\$)	Total (\$)
Cap 1	1 y 2	5	\$50,000	\$250,000	\$9,500	1	\$47,500	\$595,000
Cap 2	1 y 2	5	\$50,000	\$250,000	\$9,500	1	\$47,500	\$595,000
Cap3	1 y 2	5	\$ 50,000	\$250,000	\$9,500	1	\$47,500	\$595,000
Cap4	1 y 2	5	\$50,000	\$250,000	\$9,500	1	\$47,500	\$595,000
Cap5	1 y 2	5	\$50,000	\$250,000	\$9,500	1	\$47,500	\$595,000
Transporte	1 y 2	1	\$633,000	\$633,000	\$9,500	1	\$ 47,500	\$1'285,000
Subtotal								\$4'260,000

*Nota: Municipios 1: Repelón; Municipio 2: las Compuertas (Manatí). Cap: capacitación; transporte hace referencia al traslado de las herramientas y el material vegetal utilizado. *valor unitario pasaje, supone traslados de ida y regreso desde barranquilla hasta los municipios. Fuente: elaboración propia*

En los costos de arranque también se incluyen aquellos elementos y/o materiales consumibles, es decir que tienen un único uso durante la implementación de los sistemas agroforestales (Tabla 19).

Tabla 19

Consumibles para la implementación de los sistemas agroforestales

Descripción	Municipios	Costo (\$/Unidad)	Cantidad	Total (\$)
Especies maderables y frutales	1 y 2	\$ 800	2,316	\$ 1'852,800
Bulto de abono	1 y 2	\$ 15,000	722	\$ 10'830,000
Hidroretenedor	1 y 2	\$ 20,000	22	\$ 440,000
Lorsban (lt).	1 y 2	\$ 38,500	6	\$ 231,000
Rollo de polisombra	1 y 2	\$ 25,000	2	\$ 50,000
Refrigerios	1 y 2	\$ 9,500	400	\$ 3'800,000
Papelería	1 y 2	\$ 50	400	\$ 20,000
Kit C.R.A	1 y 2	\$ 32,000	80	\$ 2'560,000
Subtotal				\$ 19'783,800

Nota: Municipios 1: Repelón; Municipio 2: las Compuertas (Manatí) Fuente: Elaboración propia

8.5.4 Costos de administración e imprevistos

Se consideraron los gastos administrativos, costos de contratación incluidas las pólizas de seguros para la ejecución de los contratos, costos jurídicos y gastos imprevistos se generaron en costos de administración e imprevistos para la implementación de ambos sistemas agroforestales (Tabla 20).

Tabla 20

Costos de administración superior e imprevistos para la implementación de los sistemas agroforestales

Descripción	Costo (\$/Unidad)	Cantidad	Total (\$)
Costos de administración	\$ 9'750,000	2	\$ 19'500,000
Costos de contratación	\$ 3'000,000	1	\$ 3'000,000
Costos jurídicos	\$ 3'000,000	1	\$ 3'000,000
Costos imprevistos	\$ 2'000,000	1	\$ 2'000,000
Subtotal			\$ 27'500,000

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la implementación de los sistemas agroforestales se estimó en \$83'707,800 pesos colombianos, para cada uno de los sistemas agroforestales se tiene un costo de implementación de \$ 41'853,900 (Tabla 21).

Tabla 21

Costos Totales para la implementación de los sistemas Agroforestales en Repelón y las Compuertas

Descripción	Totales (\$)
Honorarios, incentivos, remuneraciones	\$ 28'000,000
Pasajes y viáticos	\$ 4'260,000
Herramientas	\$ 4'156,000
Consumibles	\$ 19'783,800
Gastos generales e imprevistos	\$ 2'008,000
Costos de administración superior	\$ 25'500,000
Total	\$ 83'707,800

Fuente: Elaboración propia

8.5.5 Costos ambientales

Para la implementación de los sistemas agroforestales no solo se debe evaluar los costos de implementación, también se deben contemplar las afectaciones ambientales de la no implementación de dichos sistemas (Tabla 22).

Tabla 22

Costos ambientales por la no implementación de los sistemas Agroforestales en Repelón y las Compuertas

Entorno	Factor	Costo	Afectaciones -Impactos
Suelo	Propiedades físicas	Aumento del deterioro	Suelo improductivo
		Pérdida de humedad	Baja productividad
		Pérdida de cobertura vegetal	Erosión y baja productividad
		Pérdida de la estructura	Dificultad para el establecimiento de cultivos
	Propiedades químicas	Aumento de acidez y salinidad	Baja disponibilidad de nutrientes
		Cambio en la textura del suelo	Afectación en las propiedades biológicas del suelo
Agua	Superficiales	Cambio en la calidad del agua, contaminación	Dificultad para el establecimiento de cultivos
	Subterráneas	Cambio en la calidad del agua, contaminación	Sedimentación de cuerpos de agua por escorrentía, , transporte de contaminantes
	Clima	Incremento en la temperatura	Sedimentación de cuerpos de agua por infiltración, transporte de contaminantes
	Calidad aire	No captación de CO ₂	Efectos asociados al cambio climático
Medio biótico	Flora	Pérdida de especies	Posibles afectaciones a la salud – enfermedades respiratorias
			Disminución de la biodiversidad y afectaciones en la seguridad alimentaria

Fauna	Migración de especies nativas	Disminución de la biodiversidad
-------	-------------------------------	---------------------------------

Fuente: Elaboración propia

Fuente: Elaboración propia

8.6 Propuesta alternativa para el manejo sostenible de los recursos existentes en los dos sistemas agroforestales

Se debe contemplar alternativas para el manejo razonable del recurso hídrico, el suelo y el cuidado y conservación de las especies vegetales nativas en cada uno de los sistemas agroforestales. Del mismo modo preservar las especies animales que interactúan con el entorno, recordando que cada una de ellas tienen una función específica dentro de los diversos ecosistemas.

En cuanto al recurso hídrico, se propone realizar una caracterización parámetros biológicos, físicos y químicos para determinar la calidad del agua empleada en los sistemas. Por otra parte, concientizar mediante capacitaciones, sobre el uso razonable evitando los desperdicios de dicho recurso, así como las malas prácticas que logren contaminar las fuentes de agua que surten las zonas de estudio.

Para la conservación y el manejo sostenible del suelo se recomienda, mantener y aumentar los niveles de N, P y M.O de los suelos de los dos sistemas agroforestales, para lo cual se propone incrementar la densidad de siembra del maní forrajero (*Arachis pintoi*). El forraje como cobertura vegetal viva, mantiene un microclima que permite mayor humedad en el suelo, aporta M.O mejorando la fertilidad del suelo. De igual manera, contribuye a la adsorción de nutrientes. Esta planta, por su característica de leguminosa, facilita la colonización de bacterias fijadoras de nitrógeno que aportan este nutriente (Martínez-Mera *et al.*, 2017). De esta manera, se disminuye la aplicación de fertilizantes inorgánicos, los cuales liberan iones H^+ acidificando el suelo. Al mismo tiempo, los fertilizantes generan salinización del suelo, disminuyendo el potencial agrícola

ya que limita los cultivos que puedan ser sembrados (Martínez-Mera *et al.*, 2016), por consiguiente, se propone evitar la adición de fertilizantes inorgánicos y plaguicidas o sustituirlos por fertilizantes orgánicos. En cuanto a los trabajos a realizar por el hombre mediante la interacción con los sistemas establecidos, se considera que el movimiento del suelo, mediante el laboreo o labranza, ocasiona pérdida de riqueza en la fauna microbiana y contenido de agua; por consiguiente, se propone evitar la sobre explotación del suelo, evitar el laboreo en los suelos en cuestión y contribuir con el aumento de la fauna microbiana mediante la adición de inóculos micorrizas nativos de la zona y abonos orgánicos, que presenten calidad sanitaria.

Para la conservación y cuidado de las especies vegetales nativas en los sistemas agroforestales, se propone evitar actos o malos hábitos en los lugares establecidos, como arrojar objetos que puedan ocasionar incendios o que se ayuden a propagar las llamas en caso de ignición. Adicionalmente, implementar las estrategias de buenas prácticas agrícolas. La mayoría de las especies de los sistemas implementados, ayudan a mantener las condiciones de humedad y protegen el recurso hídrico o fuentes de agua; generalmente se asocian estas especies con el mejoramiento en disponibilidad y calidad del agua. Finalmente, evitar la incorporación de especies invasivas, que puedan afectar el desarrollo de las especies nativas y naturalizadas en los sistemas agroforestales.

9 Conclusiones y Recomendaciones

De acuerdo con la Evaluación del componente ambiental y económico que intervienen en el establecimiento de dos sistemas agroforestales en los municipios de Manatí y Repelón en el departamento del Atlántico. Es posible afirmar que ambas zonas de estudio presentan características adecuadas para el desarrollo de cultivos, actividades agrícolas y/o el desarrollo de sistemas agroforestales.

Los suelos de la Reserva Natural Banco Totumo Bijibana (Repelón), se caracterizan por tener buena retención de humedad, pH cercano a neutro, es un suelo no afectado por las sales, con buena disponibilidad de fósforo baja presencia de materia orgánica y nitrógeno total, buena capacidad de bases intercambiables; lo anterior hace al suelo apto para el desarrollo de las plantas, fácil aumento de la materia orgánica y fijación de nitrógeno. En términos generales es un suelo apto y fértil para el desarrollo de sistemas agroforestales.

En cuanto a los suelos del Humedal el Limón, se puede afirmar que su capacidad de retener agua es baja pero no en un estado pésimo, su pH es ácido, pero no se encuentra su valor en el rango crítico, el fósforo disponible es alto, la materia orgánica y el nitrógeno total, se presentan niveles bajos, el suelo es capaz de garantizar el intercambio de nutrientes con la planta, En términos generales es un suelo que permite la adaptabilidad de muchas especies, no siendo un suelo óptimo, pero si puede llegar a óptimo mediante las técnicas adecuadas.

Se obtuvo que las especies seleccionadas no presentan mayores limitaciones para su desarrollo dentro del entorno de los sistemas agroforestales, haciendo la salvedad pequeñas limitaciones del pH y Humedad en el suelo del Humedal el Limón. En general la adaptabilidad y desarrollo es viable.

Es fundamental realizar prácticas agrícolas amigables con el medio ambiente para conservar la salud del suelo y de los sistemas agroforestales en general, así como evitar

incendios, realizar constantes monitoreos al agua suministrada en dichos terrenos y evitar la sobre explotación de los suelos.

10 Referencias

- Aguilar Medina, C. L. (2017). Evaluación de la fertilidad de suelo en función de la actividad enzimática en cultivo ecológico y convencional de pimiento (*Capsicum sp.*).
- Aguilera-Díaz, M. M. (2006). El Canal del Dique y su subregión: Una economía basada en la riqueza hídrica. Documentos de Trabajo Sobre Economía Regional y Urbana; No. 72.
- Alcaldía de Repelón-Atlántico. (2018). Información general. Recuperado del sitio web: <http://www.repelon-atlantico.gov.co>
- Alcaldía de Manatí-Atlántico. (2018). Información general. Recuperado del sitio web: <http://www.manati-atlantico.gov.co/>
- Altieri, M. A., Hecht, S., Liebman, M., Magdoff, F., Norgaard, R., & Sikor, T. O. (1999). Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. Nordan-Comunidad,.
- Bally, I. S. (2006). *Mangifera indica* (mango). Species profiles for pacific island agroforestry, 1-25.
- Beer, J., Harvey, C., Ibrahim, M., Harmand, J. M., Somarriba, E., & Jiménez, F. (2003). Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. Agroforestería en las Américas, 10(37-38), 80-87.
- Benavides, A. V. (2013). Evaluación de los sistemas agroforestales para la elaboración de un plan de manejo y aprovechamiento sustentable de los recursos en el ceypsa, parroquia Eloy Alfaro, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi. Universidad Técnica De Cotopaxi, 40-60.
- Bichier P. (2007). La Agroforestería y el mantenimiento de la biodiversidad. Recuperado de <http://goo.gl/sI6Gj4>
- Castellanos, J.Z. (2000). Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. Segunda Edición. Editorial Intagri. 186p.

- Castellanos, J. (2015). Guía para la interpretación del análisis de suelo y agua. Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura, Intagri
- Castellanos, J. (2016). La Salinidad de los Suelos, un Problema que Amenaza su Fertilidad. México: Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura, Intagri.
- CRA — Corporación Autónoma Regional del Atlántico (2014) Diagnóstico inicial para el ordenamiento del embalse El Guájaro y la Ciénaga de Luruaco, Barranquilla, Atlántico. [http://www.crautonomia.gov.co/documentos/recursohidrico/6_Diagn%C3%B3stico%20Ordenamiento%20\(Preliminar\).pdf](http://www.crautonomia.gov.co/documentos/recursohidrico/6_Diagn%C3%B3stico%20Ordenamiento%20(Preliminar).pdf)
- CONAFOR (s.f.). SIRE-Paquetes Tecnológicos. Bursera simaruba (L.) Sarg. Recuperado el 28 de mayo de 2019, del sitio web: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/894Bursera%20simaruba.pdf>
- Dávila, M., & Márquez, O. (2007). Caracterización de los suelos con fines agroforestales en la finca ULA, unidad experimental Caparo. *Agric. Andina*, 12, 41-53.
- Doran, J. W. (1994). Defining soil quality for sustainable environment (No. 631.4 D313d). Wisconsin, US: Soil Science Society of America.
- Dumont, A.M., & Baret, P.V. (2017). Why working conditions are a key issue of sustainability in agriculture? A comparison between agroecological, organic and conventional vegetable systems. *J. Rural. Stud.* 56, 53–64.
- El heraldo. (2015, Marzo 29). Emergencia por incendio forestal en zona de reserva ecológica, en Repelón. *El Herald*, pp. 1-2.
- Escolar, A. (2009). Ecosistemas acuáticos del departamento del Atlántico. Corporación Autónoma Regional (CRA).
- FAO. (2015). Las amenazas a nuestros suelos. Tomado de: <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/es/c/326259/>.

- FAO. (2018). Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales. Bogotá: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Fern, K. (2014). Base de datos de plantas tropicales, Ken Fern. tropical.theferns.info
- Ferrera, R. & Alarcón, A. (2001). La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. *Ciencia Ergo Sum*. 8(2): 175-183.
- Florez, E. M., & Vozzo, J. A. (2010). Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Manual de Semillas de Árboles Tropicales. p 685 -688.
- Gamboa, J., & Mora, J. (2010). Guía para el cultivo de Mango (*Mangifera indica* L.) en Costa Rica. San José, C.R. INTA.
- Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., ... & Muñiz Ugarte, O. (2014). Atlas de suelos de América Latina y el Caribe. Luxembourg: Comisión Europea, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, 2014.
- Garrido-Valero, S. (1994). Interpretación de análisis de suelos (No. 16489/J). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España.
- Gilabert de Brito, J., Arrieché, I., León, M., & López, I. (2015). Análisis de suelo para diagnóstico de fertilidad. Manual de métodos y procedimientos de referencia. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Maracay, Venezuela. 215p.
- Guerra de los Ríos, B. M.(s.f.) Gestión del riesgo de desastres en el contexto de la Ola Invernal 2010-2011. Estudio de caso municipio de Campo de la Cruz, Atlántico (Doctoral dissertation, Universidad del Rosario).
- Hernández, E. J. D., & Durán, K. A. C. (2016). Programa de educación ambiental para la promoción de la agroforestería. *Novum Scientiarum*, (3).

- Heuzé, V., & Tran, G. (2017). Kapok (*Ceiba pentandra*). Feedipedia, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. Recuperado del sitio web 02 de julio de 2019
<https://www.feedipedia.org/node/48>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC. (2006). Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos. Bogotá: IGAC.
- Martínez-Mera, E., Valencia, E. & Cuevas H. (2016). Evaluación del rendimiento de maíz dulce (*Zea maíz* cv. Suresweet con leguminosas cobertoras mucuna enana (*Mucuna pruriens*) y crotalaria (*Crotalaria juncea* cv. Tropicsun) en un oxisol de Puerto Rico. Journal of agriculture of the university of Puerto Rico, 100 (1), 57-70
- Martínez-Mera, E. A., Torregroza-Espinosa, A. C., Castañeda-Valbuena, D., Crisien-Borrero, T., J., & Torres-Bejarano, F. M. (2017). Los suelos agrícolas del distrito de riego de Repelón-Atlántico. 23p.
- Martínez-Mera, E. A., Torregroza-Espinosa, A. C., Crisien-Borrero, T. J., Marrugo-Negrete, J. L., Gonzalez-Marquez, L. C. (2019). Evaluation of contaminants in agricultural soils in an Irrigation District in Colombia. Heliyon, 5(8), e02217.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2000). Plan Nacional de Desarrollo Forestal. Bogotá: Ministerio de Medio Ambiente, Ministerio de Comercio Exterior, Ministerio de Desarrollo Económico, Departamento Nacional de Planeación, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Miralles-Mellado, I. (2007). Calidad de suelos en ambientes calizos mediterráneos: Parque Natural de Sierra María-Los Vélez (Doctoral dissertation, Universidad de Granada).
- Molina, E. (2007). Análisis de suelos y su interpretación. San José, CR, CIA-UCR-Amino Grow International.
- Munsell., C. (2009). Munsell, Soil-Color Chart. Michigan: Munsell Color Company.

- NTC (Norma Técnica Colombiana -5350). (2005). Calidad de Suelo. Determinación de Fósforo Disponible. Bogotá, D. C, Colombia.
- NTC (Norma Técnica Colombiana -5264). (2008). Calidad de Suelo. Determinación del pH Disponible. Bogotá, D. C, Colombia.
- NTC (Norma Técnica Colombiana - 5268). (2014). Calidad de Suelo. Determinación de la Capacidad e Intercambio Catiónico. Bogotá, D. C, Colombia.
- Patiño, E. (2019, 23 de junio). Bijibana, 1528 hectáreas de pura naturaleza en Atlántico. El Heraldo. Recuperado el 18 de octubre de 2019, de <https://www.elheraldo.co/atlantico/bijibana-1528-hectareas-de-pura-naturaleza-en-atlantico-643966>
- Quichimbo, P., Tenorio, G., Borja, P., Cárdenas, I., Crespo, P., Célleri, R., ... & Célleri, R. (2012). Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador. *Suelos Ecuatoriales*, 42(2), 138-153.
- Quintero, R. (1993). Interpretación del análisis de suelo y recomendaciones de fertilizantes para la caña de azúcar. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña). serie Técnica, (14).
- Retamal, R. (2008). Metodología para valorar la oferta de servicios ecosistémicos asociados al agua de consumo humano, Copán Ruinas, Honduras. Serie Técnica. Informe Técnico (CATIE), número 362.
- Rubio, B. (2001). La agricultura latinoamericana. Una década de subordinación excluyente. *Nueva sociedad*, 174, 54-65.

- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). Propiedades físicas del suelo. Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos y Aguas, Montevideo, Uruguay.
- Santos, P. Z. F., Crouzeilles, R., & Sansevero, J. B. B. (2019). Can agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem service provision in agricultural landscapes? A meta-analysis for the Brazilian Atlantic Forest. *Forest Ecology and Management*, 433, 140-145
- Sinclair, F. L. (2004). "Agroforestry", Elsevier, University of Wales, Bangor, UK.
- Solorio, F. J. (2010). Diseño y evaluación de sistemas agroforestales. Yucatán: Universidad Autónoma del Yucatán.
- Toala, V., & Mercedes, L. (2016). Evaluación de los sistemas agroforestales para la elaboración de un plan de manejo y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales de la finca Pastora de la parroquia Pacayacu (Bachelor's thesis).
- Torregroza-Espinosa, A. C., Martínez-Mera, E., Castañeda-Valbuena, D., González-Márquez, L. C., & Torres-Bejarano, F. (2018). Contamination level and spatial distribution of heavy metals in water and sediments of El Guajaro reservoir, Colombia. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 101(1), 61-67.
- UICN, (s.f.). Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza *Especies para la restauración*. Recuperado el 28 de mayo de 2019, del sitio web:
<http://www.especiesrestauracion-uicn.org/index.php>
- Vargas, M. M. M., Nicholls, C. I., Márquez, S. M., & Turbay, S. (2014). Caracterización de nueve agroecosistemas de café de la cuenca del río Porce, Colombia, con un enfoque agroecológico. IDESIA (Chile).

- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37(1), 29-38.
- Yepes Vargas, L. A., & Sarmiento Moreno, L. F. (2016). Estudio de la apropiación de sistemas silvopastoriles en la producción de leche bovina en el contexto del agronegocio lácteo del sur del Atlántico.

Anexos**Anexo 1**

Encuesta para la recopilación de información primaria en el municipio de Repelón y las Compuertas (corregimiento de Manatí) en el Departamento del Atlántico.

Evaluación agroecológica preliminar de dos sistemas productivos forestales en los municipios de Manatí y Repelón en el Departamento del Atlántico.

Nombres y Apellidos: _____

Municipio: _____

A continuación, se presentan una serie de preguntas, por favor responda con base a su experiencia en el campo agroindustrial y agroecológico.

- 1. ¿Cuáles son las especies que usted considera en vía de extinción?**

- 2. ¿Cuáles cree usted que sean las razones que justifican la ausencia de las especies vegetales anteriormente mencionados?**

- 3. Qué tipo de especies vegetales le gustaría que se implementarán en el municipio donde habita**

Anexo 2.
Establecimiento del sistema agroforestal.
ENTREGA DE ESPECIES VEGETALES.



Figura 2. Descargue del material vegetal Fuente: Elaboración propia



Figura3. Entrega de material vegetal Fuente: Elaboración propia



Figura 4. *Entrega de especies maderables* Fuente: *Elaboración propia*

ENTREGA DE HERRAMIENTAS



Figura 5. *Entrega de palas y palas draga* Fuente: *Elaboración propia*



Figura6. *Entrega de bombas de fumigar, guantes y gafas*. Fuente: *Elaboración propia*

ENTREGA DE INSUMOS



Figura 7. Entrega de bultos de abono, Hidroretenedores, lorsban y polisombra. Fuente: Elaboración propia

Anexo 3
Colores identificados en las zonas de estudio

Zona estudio	Código Munsell	Color Descrito	Representación
1	10YR 4.0/4	Marrón Amarillento Oscuro	
1	10YR 3.0/4	Marrón Amarillento Oscuro	
1	7.5YR 4.0/4	Marrón	
1	10YR 4.0/3	Marrón	
1	10YR 4.0/6	Marrón Amarillento Oscuro	
2	7.5YR 3.0/2	Marrón Oscuro	
2	10YR 3.0/2	Marrón	
2	5YR 2.5/1	Negro	
2	5YR 2.5/2	Marrón Rojizo Oscuro	
2	7.5YR 2.5/2	Marrón muy Oscuro	
2	2.5YR 2.5/2	Rojo muy Oscuro	
2	2.5YR 2.5/1	Negro rojizo	
2	5YR 3.0/1	Gris muy Oscuro	
2	7.5YR 4.0/1	Gris oscuro	
2	10YR 3.0/1	Grisáceo muy oscuro	

Nota: Zona estudio 1: Humedal el limón, 2: Reserva natural Banco Bijibana Totumo. Información adaptada de Munsell, 2009